

УДК 373.5.016:53

DOI: 10.36550/2415-7988-2024-1-215-145-149

**ГРИЩЕНКО Надія Олександрівна** –

старший викладач кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях Державного університету «Житомирська політехніка»

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1378-7834>e-mail: [kktumtt\\_hno@ztu.edu.ua](mailto:kktumtt_hno@ztu.edu.ua)**КОЛОМІЄЦЬ Роман Олександрович** –

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях Державного університету «Житомирська політехніка».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9020-938X>e-mail: [krt\\_kro@ztu.edu.ua](mailto:krt_kro@ztu.edu.ua)

## ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ СОНЯЧНОГО ВІТРУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ТА СОНЯЧНОЇ СТАЛОЇ НА ФАКУЛЬТАТИВНИХ ЗАНЯТТЯХ З ФІЗИКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті показана можливість вивчення та визначення швидкості сонячного вітру за допомогою геомагнітного поля та сонячної сталої та пояснено чому це є важливим у сучасному світі, адже космічна погода та добові коливання дуже сильно впливають як на навколосезонні супутники та космічні станції, так і на різні процеси на Землі та на самопочуття живих організмів та всього живого на Землі. Стаття присвячена впровадженню новітніх методик для вивчення даної теми на факультативних заняттях з фізики, використовуючи геомагнітне поле та сонячну сталу. У роботі розглядаються основні теоретичні аспекти сонячного вітру та його вплив на геомагнітне поле Землі. Детально описано процес застосування прикладного програмного забезпечення для збору, обробки та аналізу даних, що дозволяє визначити швидкість сонячного вітру. Основна мета дослідження полягає в підвищенні зацікавленості студентів до вивчення фізики та природничих наук через інтерактивні методи навчання. Використання сучасних програмних засобів, зокрема, спеціалізованих додатків для моделювання та аналізу даних, дозволяє студентам краще зрозуміти складні фізичні процеси, які відбуваються у космічному просторі. Завдяки цьому підходу студенти не лише опановують теоретичні знання, але й набувають практичних навичок роботи з науковими інструментами та даними. Особлива увага приділяється методам візуалізації та інтерпретації даних, що сприяє більш глибокому розумінню матеріалу. Результати дослідження показують, що такі інтерактивні заняття сприяють підвищенню мотивації студентів до навчання, розвитку критичного мислення та наукового підходу до вирішення проблем. Описані методики можуть бути успішно інтегровані у навчальний процес в інших освітніх закладах, сприяючи формуванню нової генерації фахівців у галузі космічних досліджень. Цей метод може бути корисним інструментом для викладачів фізики, які прагнуть: зацікавити студентів вивченням астрофізики; розвинути у них навички роботи з науковими даними; допомогти їм зрозуміти зв'язок між сонячною активністю та космічними явищами.

**Ключові слова:** Сонячний вітер; Сонячна стала; магнітне поле; швидкість сонячного вітру; корональна діра.

**HRYSHCENKO Nadiia Oleksandrivna** –Senior Lecturer, The Department of software systems  
Zhytomyr Polytechnic State UniversityORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1378-7834>e-mail: [kktumtt\\_hno@ztu.edu.ua](mailto:kktumtt_hno@ztu.edu.ua)**KOLOMIETS Roman Oleksandrovich** –

Candidate of Technical Sciences,

The Department of Biomedical Engineering

and Telecommunication, Zhytomyr Polytechnic State University

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9020-938X>e-mail: [krt\\_kro@ztu.edu.ua](mailto:krt_kro@ztu.edu.ua)

## DETERMINING THE SOLAR WIND SPEED USING THE GEOMAGNETIC FIELD AND THE SOLAR CONSTANT IN OPTIONAL PHYSICS CLASSES WITH THE USE OF APPLIED SOFTWARE

The article shows the possibility of studying and determining the solar wind speed using the geomagnetic field and the solar constant and explains why this is important in the modern world, because space weather and daily fluctuations have a great impact on both near-Earth satellites and space stations, as well as on various processes on Earth and on the well-being of living organisms and all life on Earth. The article is devoted to the introduction of the latest methods for studying this topic in elective physics classes using the geomagnetic field and solar constant. The paper discusses the main theoretical aspects of the solar wind and its impact on the Earth's geomagnetic field. The process of using application software for collecting, processing and analyzing data to determine the solar wind speed is described in detail. The main purpose of the study is to increase students' interest in studying physics and natural sciences through interactive teaching methods. The use of modern software tools, in particular, specialized applications for modeling and data analysis, allows students to better understand the complex physical processes that occur in outer space. Thanks to this approach, students not only master theoretical knowledge but also acquire practical skills in working with scientific instruments and data. Particular attention is paid to data visualization and interpretation methods, which contributes to a deeper understanding of the material. The results of the study show that such interactive classes help increase students' motivation to learn, develop critical thinking and a scientific approach to problem solving. The described methods can be successfully integrated into the educational process in other educational institutions, contributing to the formation of a new generation of space research specialists. This method can be a useful tool for physics teachers who want to: interest students in studying astrophysics; to develop their skills in working with scientific data; help them understand the connection between solar activity and cosmic phenomena.

**Key words:** Solar wind; solar constant; magnetic field; solar wind speed; coronal hole.

**Постановка та обґрунтування актуальності проблеми.** В наш час є особливо помітними досягненнями в вивченні та дослідженні. Швидкість сонячного вітру є важливим фактором. Частинки з більшою швидкістю сильніше вражають магнітосферу Землі і мають більший шанс викликати порушення геомагнітних умов, коли вони стискають магнітосферу. Швидкість сонячного вітру на Землі зазвичай близько 300 км/с, але збільшується при надходженні високошвидкісного потоку корональної маси (СН HSS) або виході корональної маси (СМЕ). Це, однак, не є золотим правилом, і сильні геомагнітні шторми можуть виникати і при менших швидкостях, якщо значення міжпланетного магнітного поля сприятливі для посилення геомагнітних умов. Коли сонячний вітер досягає нашої планети, заряджені частинки вступають у взаємодію з магнітним полем Землі, що проявляється у заворожуючих полярних сьайвах, а також впливає на системи зв'язку та роботу супутників. Отже, розуміння сонячних процесів, зокрема зародження сонячного вітру, має вирішальне значення для точного прогнозування космічної погоди і забезпечення безпеки космічних польотів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** З 1966 року горизонтальний сонячний телескоп АЦУ-5 ГАО НАН України задіяний у виконанні кількох спостережних проєктів, у тому числі міжнародних. Під час виконання цих програм отримано низку важливих наукових результатів.

Побудовано самоузгоджену систему сил (сила осцилятора – це ймовірність поглинання електромагнітного випромінювання при переходах між рівнями енергії атома або молекули), яка широко використовується в усіх галузях астрофізики, де проводиться кількісний спектральний аналіз.

У дослідженні авторів [12] можна виявити ключову проблему звідки зароджується сонячний вітер. Невловиме джерело сонячного вітру було виявлене вченими за допомогою даних, зібраних апаратом Solar Orbiter Європейського космічного агентства (ESA). Як пише Independent, це досягнення може призвести до кращого прогнозування явищ космічної погоди, таких як сонячні спалахи, які досить потужні, щоб порушити роботу комунікаційної інфраструктури на Землі. Четвертий стан матерії – плазма – постійно виходить із Сонця і утворює сонячний вітер – безперервний потік заряджених частинок, що витікає назовні із зовнішньої атмосфери Сонця, корони. Коли частинки сонячного вітру потрапляють в магнітне поле Землі, вони можуть створювати полярні сьайва, а також порушувати роботу GPS і систем зв'язку. Хоча темні області сонячної атмосфери, відомі як «корональні діри», є джерелом сонячного вітру, залишається неясним, як цей вітер насправді виходить з цих областей. Як йдеться в дослідженні [12], опублікованому в журналі Science, крихітні струмені частинок на Сонці розміром у кілька сотень кілометрів, що тривають близько 20-100 секунд і досягають швидкості близько 100 км в секунду, імовірно, є джерелом енергії сонячних вітрів. Дослідники [12], в тому числі з Інституту з

дослідження Сонячної системи Макса Планка, заявили, що ці «підкоспалахи» можуть постачати енергію і плазму сонячному вітру – важливому компоненту космічної погоди, що впливає на планети. Вчені підкреслюють, що ці струмені, відомі як «підкоспалахи», значно поступаються за потужністю масивним сонячним спалахам Х-класу, які здатні викликати масштабні відключення електроенергії на Землі. Енергія одного такого спалаху, що триває близько хвилини, «може дорівнювати середньорічному споживанню електроенергії 10 тисяч домогосподарств у Великій Британії», зазначає співавтор дослідження Лакшмі Прадіп Чітта [12].

Згідно даного дослідження «Зонд NASA Parker став свідком народження сонячного вітру» у своїй статті автор [12], розкриває наскільки зараз наука широко розвинена та які точні дослідження можна провести. А саме таке пояснення нам оприлюднили у даній статті. Оснащений передовими інструментами для виявлення заряджених частинок, сонячний зонд NASA Parker Solar Probe здійснив ризиковане наближення до Сонця, ненадовго занурившись у його атмосферу. Під час попереднього прольоту в листопаді 2021 року зонд опинився вблизь області, відомої як корональна діра. Ці унікальні утворення виникають, коли лінії магнітного поля Сонця розриваються, створюючи своєрідні ворота, через які сонячний вітер виривається у відкритий космос. Зазвичай лінії магнітного поля Сонця замкнуті, виходячи з його поверхні та замикаючись в іншому місці. Проте, з посиленням сонячної активності, деякі з них можуть розмикатися, випускаючи заряджені частинки у вільний простір. Цей процес призводить до утворення магнітного вихору з відкритим горлом, який іноді спрямований у бік Землі. Хоча корональні діри неможливо побачити неозброєним оком, їх можна виявити за допомогою рентгєнівських знімків. Саме через ці отвори виривається сонячна плазма, яка раніше стримувалася магнітними полями. Вчені довго не могли розгадати таємницю, як саме відбувається відкриття магнітних силових ліній та яке джерело енергії прискорює заряджені частинки. Це призвело до виникнення двох основних теорій:

- Перша теорія стверджує, що плазма прискорюється хвилями Альвена, які є типом хвиль, що поширюються в плазмі.

- Друга ж припускає, що енергія для прискорення частинок виникає внаслідок повторного з'єднання ліній магнітного поля.

Дані, зібрані зондом Parker, свідчать про те, що сонячний вітер дійсно генерується внаслідок хаотичного перез'єднання магнітних силових ліній Сонця.

Чергове дослідження науковців [13] показало, що сонячний вітер може впливати на Місяць навіть тоді, коли він знаходиться за Землею, на відстані, яка становить лише третину шляху до Місяця. В періоди високої сонячної активності Сонце викидає додаткові частинки у сонячному вітрі, створюючи ударні хвилі, які проходять через всю Сонячну систему. Коли ці хвилі досягають Землі, вони стискають магнітосферу, яка вже має форму, схожу

на вітровказ, під впливом постійного сонячного вітру. Якщо потік сонячного вітру за ударною хвилею досить сильний, він може ще більше змістити магнітосферу, exposing the Moon to the solar wind even when it is hiding behind Earth. Це відкриття було зроблено завдяки даним з кількох космічних апаратів NASA, які спостерігали за швидкісною ударною хвилею, що досягла Землі у 2012 році зі швидкістю понад 2,7 мільйона кілометрів на годину. Хвилю вперше виміряли космічні зонди Advanced Composition Explorer (ACE) та Cluster and Wind missions, які знаходяться між Землею та Сонцем. Через годину зміни в магнітному середовищі були зафіксовані зondaми місії THEMIS-ARTEMIS, яка досліджує вплив сонячного вітру на магнітосферу Землі та взаємодію Місяця з Сонцем.

Але результати нового дослідження, які оприлюднив журнал [13], вказують на те, що це не завжди так. Дані з космічних місій показали, що потужний потік сонячного вітру за ударною хвилею може відсувати довгий хвіст магнітосфери Землі, змушуючи його гойдатися туди-сюди, як флюгер. Зміщення хвоста було таким значним, що Місяць неодноразово потрапляв під вплив сонячного вітру протягом півгодини. Це дослідження також продемонструвало, що «опромінення» Місяця сонячним вітром може відбуватися й без ударної хвилі, наприклад, коли сонячний вітер дме не прямо, а під кутом. Це дає підстави вважати, що таке явище може траплятися частіше, ніж вважали науковці раніше.

У публікації [13] автори розкривають суть чому сонячний вітер обирає саме північний полюс. Сонячно-земна взаємодія включає передачу енергії з магнітосфери в іоносферу і атмосферу, і критичним компонентом цієї взаємодії є масштабні поздовжні струми, які течуть у відповідь на вплив сонячного вітру та пов'язані з конвекційними потоками плазми в магнітосфері. Струми течуть вздовж ліній магнітного поля і провокують так зване магнітне перез'єднання, коли протилежно напрямлені лінії поля роз'єднуються і знову замикаються через шар електричного струму, що виник між ними. Ці струми виникають та динамічно змінюються через дію альфвенівських хвиль, які спроможні підсилувати магнітне поле, а також переносити його на значні відстані. Нещодавні дослідження показали, що у середньому за рік ці потоки струму в областях полярних сьвів сильніші на Півночі. Вчені припускають, що така різниця пояснюється зміщенням магнітного диполя від центру Землі, що призводить до більшого розділення між магнітним полюсом і віссю обертання на півдні, створюючи різну сонячну освітленість північних і південних регіонів полярних сьвів. Дані супутників Swarm вчені використовували для дослідження активності електричного і магнітного поля для обчислення щільності потоку енергії і оцінки реакції космічної погоди на вплив сонячного вітру. Вони і підказали, що магнітне поле не лише захищає Землю від сонячного випромінювання, але і активно контролює розподіл і передачу енергії у верхні шари атмосфери.

**Мета статті** полягає у спостереженні, проведенні досліджень та аналізі характеристик швидкості сонячного вітру землі, як він взагалі утворюється та які наслідки чинить за Землю, а також як магнітне поле змінюється протягом доби та якими методами дану тему ефективніше вивчати на факультативних заняттях.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сонце – колосальний природний ядерний реактор. Кожну секунду в космос поширюється 4 мільйони тон сонячної речовини. Безперервний потік частинок з поверхні Сонця, який вчені образно називають сонячним вітром. Заповнює всю планетарну систем рухомими зарядженими частинками. Таким чином, усі планети Сонячної системи знаходяться в електричному полі зарядів, що виходять від Сонця.

Геомагнітне поле Землі – це магнітне поле, що оточує планету. Воно виникає внаслідок руху рідкого зовнішнього ядра Землі, яке складається головним чином з рідкого заліза й нікелю. Геомагнітне поле має велике значення для захисту атмосфери Землі від шкідливих космічних випромінювань (та сонячного вітру) і для навігації у просторі.

Сонячна стала – це константа, яка визначає силу сонячного випромінювання, яке досягає земної поверхні та має свої одиниці вимірювання .

Швидкість сонячного вітру – це швидкість, з якою частинки, енергія та магнітне поле, відпускаються від Сонця у всі боки. Вона може досягати надзвичайно великих значень, декількох сотень кілометрів на секунду.

Сонячний вітер – це потік заряджених частинок (плазми), що виходять з Сонця. Цей потік постійно змінюється в швидкості, щільності та температурі. Найбільш вражаюча відмінність цих трьох параметрів виникає, коли сонячний вітер виходить з корональної діри або як викид корональної маси. Потік, що виходить з корональної діри, може бути схожим на постійний швидкісний потік сонячного вітру там, де викид корональної маси більше нагадує величезну швидкоплинну хмару сонячної плазми. Коли ці сонячні вітрові структури прибувають на Землю, вони стикаються із магнітним полем Землі, де частинки сонячного вітру здатні потрапляти в нашу атмосферу навколо магнітного північного та південного полюсів нашої планети [2]. Частинки сонячного вітру стикаються там з атомами, що утворюють нашу атмосферу, такі як атоми азоту та кисню, що, в свою чергу, дає їм енергію, яку вони повільно виділяють у вигляді світла. Швидкість сонячного вітру є важливим фактором. Частинки з більшою швидкістю сильніше вражають магнітосферу Землі і мають більший шанс викликати порушення геомагнітних умов, коли вони стискають магнітосферу. Швидкість сонячного вітру на Землі зазвичай близько 300 км/с, але збільшується при надходженні високо-швидкісного потоку корональної ями (CH HSS) або викиді корональної маси (CME). Під час виверження корональної маси швидкість сонячного вітру може раптово стрибнути до 500, а то й більше 1000 км/с. Для нижніх середніх широт потрібна значна

швидкість, бажано значення вище 700 км/с. Це, однак, не є золотим правилом, і сильні геомагнітні шторми можуть виникати і при менших швидкостях, якщо значення міжпланетного магнітного поля сприятливі для посиленних геомагнітних умов [4.].

Повільний сонячний вітер породжується «спокійною» частиною сонячної корони при її газодинамічному розширенні: при температурі корони бл.  $2 \times 10^6$  К корона не може перебувати в умовах гідростатичної рівноваги, і це розширення за даних граничних умов повинно приводити до розгону корональної речовини до надзвукових швидкостей. Нагрівання сонячної корони до таких температур відбувається внаслідок конвективної природи теплопереносу у фотосфері сонця: розвиток конвективної турбулентності в плазмі супроводжується утворенням інтенсивних магнітозвукових хвиль; у свою чергу при поширенні в напрямку зменшення густини сонячної атмосфери звукові хвилі перетворюються в ударні; ударні хвилі ефективно поглинаються речовиною корони і нагрівають її до температури  $1 - 3 \times 10^6$  К.

Потоки рекурентного швидкого сонячного вітру випромінюються Сонцем протягом декількох місяців і мають період повторюваності при спостереженні із Землі в 27 діб (період обертання Сонця). Ці потоки асоційовані з корональними дірами – областями корони з відносно низькою температурою (приблизно  $0,8 \times 10^6$  К), зниженою густиною плазми (всього чверть густини спокійних областей корони) і радіальним відносно Сонця магнітним полем.[3.]

Спорадичні потоки при русі в просторі, заповненому плазмою повільного сонячного вітру, ущільнюють плазму перед своїм фронтом, утворюючи ударну хвилю, що рухається разом із ним. Раніше передбачалося, що такі потоки викликаються сонячними спалахами, однак на сьогодні вважається, що спорадичні високошвидкісні потоки в сонячному вітрі обумовлені корональними викидами. Разом із тим слід зазначити, що й сонячні спалахи, і корональні викиди пов'язані з тими самими активними областями на Сонці і між ними існує статистична залежність [2].

Дані про сонячний вітер та міжпланетне магнітне поле в реальному часі, які ви можете знайти на цьому веб-сайті, надходять з супутника кліматичної обсерваторії глибокого космосу (DSCOVR), який знаходиться на орбіті навколо точки Лагранжа Сонце-Земля 1. Це точка в просторі, яка завжди знаходиться між Сонцем і землею, де гравітація Сонця і Землі однаково притягує супутники, що означає, що вони можуть залишатися на стабільній орбіті навколо цієї точки. Ця точка ідеально підходить для сонячних місій, таких як DSCOVR, так як це дає DSCOVR можливість вимірювати параметри сонячного вітру і міжпланетного магнітного поля до того, як він прибуде на Землю. Це дає нам від 15 днів 60 хвилин часу попередження (залежно від швидкості сонячного вітру) про те, які структури сонячного вітру знаходяться на шляху до землі [5].

На факультативних заняттях ми можемо більш поглиблено вивчати дану тему за допомогою

цікавих та різних методів таких як: інтерактивний метод (бесіда, розповідь, пояснення), ілюстративний метод (експеримент, ілюстрації, відео матеріали). Завдяки даним методам студенти можуть детальніше розглянути тему та будуть зацікавлені у вивченні її. Це покращить та розширить їх кругозір та світогляд. Студенти активно будуть відвідувати факультативні заняття.

**Висновки та перспективи подальших розвідок напряму.** Отже на основі даних досліджень ми можемо зробити наступні висновки про магнітне поле. Відомо, що ослаблення магнітного поля Землі веде до переполу совці, при якій північний і південний магнітні полюси міняються місцями, відбувається їх інверсія. Дослідження в області палеомагнетизму показали, що раніше під час переполу совці, які відбувалися поступово, магнітне поле Землі втрачало дипольну структуру. Інверсії магнітного поля передувало його ослаблення, а після неї величина поля знову зростала до колишніх значень.

Проаналізувавши дану тему, дійшла до висновку що потрібно захоплювати та об'єднувати різні методи навчання фізики, розробляти нові методи для зацікавлення студентів на факультативних заняттях.

Під час розглядання даної теми, спираючись на величезну низку досліджень ми можемо сказати, що вчені вивчають та розглядають дуже важливу тему, яка має не аби який вплив на нашу планету та людство в цілому. У статті описується метод визначення швидкості сонячного вітру за допомогою геомагнітного поля та сонячної сталої на факультативних заняттях з фізики з використанням прикладного програмного забезпечення. Цей метод дозволяє студентам дослідити фізичні явища, що відбуваються в космосі, та отримати практичний досвід роботи з науковими даними.

**Основні моменти:**

- Метод ґрунтується на співвідношенні між швидкістю сонячного вітру, геомагнітним індексом Kp та сонячною сталою.
- Використовуючи прикладне програмне забезпечення, студенти можуть отримувати та обробляти дані про сонячну активність та геомагнітне поле.
- Цей метод може бути використаний для дослідження динаміки сонячного вітру та його впливу на Землю.

**Переваги методу:**

- Простий у розумінні та реалізації.
- Дозволяє студентам отримати практичний досвід роботи з науковими даними.
- Може бути використаний для дослідження різних аспектів сонячної активності.

**Можливі напрямки для подальшого розвитку:**

- Використання більш складних моделей для визначення швидкості сонячного вітру.
- Дослідження впливу сонячного вітру на інші параметри геомагнітного поля.
- Розробка програмного забезпечення для автоматизованого аналізу даних.

Цей метод може бути корисним інструментом для викладачів фізики, які прагнуть:

- зацікавити студентів вивченням астрофізики;
- розвинути у них навички роботи з науковими даними;
- допомогти їм зрозуміти зв'язок між сонячною активністю та космічними явищами.

**СПИСОК ДЖЕРЕЛ**

1. Іванчук В. Г. Магнетизм у Всесвіті. К., 1967. С. 48.
2. Іванюк Т. STEM як освітній ресурс XXI століття. STEM – освіта та шляхи її впровадження в навчально-виховний процес. Тернопіль, 2017. С. 14–18.
3. Яновський Б. М. Земний магнетизм. Л., 1978. С. 232.
4. Веб-сайт «Астрономічні новини NASA. Новини космосу». URL: <https://www.nasa.gov>.
5. URL: <https://www.spaceweatherlive.com/uk/dopomoga/sonyachniy-viter.html>.
6. Badmas S. T. та ін. Прогнозування та перевірка джерел сонячного вітру Parker Solar Probe на 13,3 RS. J. Geophys. Резолюція, 2023. 128 с.
7. Mac Neil A. R. та ін. Статистична оцінка балістичного зворотного відображення для повільного сонячного вітру: взаємодія прискорення та коротації сонячного вітру. MNRAS, 2021. 1093 с.
8. Arge C. N. та ін. Моделювання корони та сонячного вітру за допомогою карт ADAPT, які включають спостереження на дальній стороні. У матеріалах конференції AIP 1539. С. 11–14 (AIP Publishing LLC, 2013).
9. Рауафі Н. Е. та ін. Магнітне перез'єднання як драйвер сонячного вітру. Астрофізика. J.945, 2023. 28 с.
10. Хуан Ю.-М. та Бхаттачарджі А. Турбулентне магнітогідродинамічне перез'єднання, опосередковане плазмодною нестабільністю. Астрофізика. J. 2016. 818. 20 с.
11. Дрейк Дж. Ф. Зворотні перемикання як сигнатури канатів магнітного потоку, магнітного потоку, у короні. Астрон. Астрофізика. 2021. 650. 452 с.
12. Михайло Года. URL: [https://24tv.ua/tech/zond-nasa-parker-stav-svidkom-narodzhennya-sonyachnogo-vitru\\_n2330354](https://24tv.ua/tech/zond-nasa-parker-stav-svidkom-narodzhennya-sonyachnogo-vitru_n2330354)
13. Journal of Geophysical Research: Space Physics («Журнал геофізичних досліджень: космічна фізика»). URL: <http://nashenebo.in.ua/soniachnyi-viter-vplyvaie-na-misiats-bilsh-nizh-dosi-vvazhaly-naukovtsi>.

**REFERENCES**

1. Ivanchuk, V. H. (1967). *Magnetism in the Universe*. K. 48 s. [in Ukrainian]
2. Ivaniuk, T. (2017). STEM yak osvitnii resurs KhKhI stolittia. [STEM as an educational resource of the XXI century]. STEM - osvita ta shliakhy yii vprovadzhenia v navchalno-vykhovnyi protses. Ternopil. S. 14–18. [in Ukrainian]
3. Ianovskyi, B. M. (1978). *Zemnyi mahnetyzm*. [Earth magnetism]. L., 1978. S. 232. [in Ukrainian]

4. Website "NASA Astronomy News. Space News". URL: <https://www.nasa.gov>. [in English]
5. URL: <https://www.spaceweatherlive.com/uk/dopomoga/sonyachniy-viter.html>. [in English]
6. Badmas, S.T. (2023). et al. Prediction and validation of solar wind sources by the Parker Solar Probe at 13.3 RS. J. Geophys. Res. P. 128 [in English]
7. MacNeil, A. R. et al. (2021). A statistical assessment of ballistic backscatter for slow solar wind: the interaction of solar wind acceleration and shortening. MNRAS. 1093. [in English]
8. Arge, C.N. et al. (2013). Modeling the corona and solar wind with ADAPT maps that incorporate far-side observations. In AIP Conference Proceedings 1539. P. 11-14 (AIP Publishing LLC, 2013). [in English]
9. Rauaifi, N. E. et al. (2023). Magnetic reconnection as a driver of the solar wind. Astrophys. J.945. P. 28. [in English]
10. Huang, Y.-M. and Bhattacharjee, A. M (2016). Turbulent magnetohydrodynamic reconnection mediated by plasma instability. Astrophys. J. 818. P. 20. [in English]
11. Drake, J. F. (2021). Reverse switches as signatures of magnetic flux ropes, magnetic flux, in the corona. Astron. Astrophysics. 650. A2. P. 452. [in English]
12. Michael Goda. URL: [https://24tv.ua/tech/zond-nasa-parker-stav-svidkom-narodzhennya-sonyachnogo-vitru\\_n2330354](https://24tv.ua/tech/zond-nasa-parker-stav-svidkom-narodzhennya-sonyachnogo-vitru_n2330354). [in English]
13. Journal of Geophysical Research: Space Physics, URL: <http://nashenebo.in.ua/soniachnyi-viter-vplyvaie-na-misiats-bilsh-nizh-dosi-vvazhaly-naukovtsi>. [in English]

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**ГРИЩЕНКО Надія Олександрівна** – старший викладач кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях Державного університету «Житомирська політехніка».

*Наукові інтереси:* застосуванням прикладного програмного забезпечення на заняттях з фізики.

**КОЛОМІЄЦЬ Роман Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях Державного університету «Житомирська політехніка».

*Наукові інтереси:* застосуванням прикладного програмного забезпечення на заняттях з фізики.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**HRYSHCENKO Nadiia Oleksandrivna** – Senior Lecturer The Department of software systems Zhytomyr Polytechnic State University.

*Scientific interests:* using application software in physics classes.

**KOLOMIETS Roman Oleksandrovich** – Candidate of Technical Sciences The Department of Biomedical Engineering and Telecommunication Zhytomyr Polytechnic State University.

*Scientific interests:* using application software in physics classes.

*Стаття надійшла до редакції 18.08.2024 р.*

УДК 37 (091) «18/19»

DOI: 10.36550/2415-7988-2024-1-215-149-153

**ДЯЧЕНКО Андрій Сергійович** – аспірант кафедри педагогіки та спеціальної освіти Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка  
ORCID: <https://orcid.org/0009-00024418-107X>  
e-mail: phone.email.december@gmail.com