

ВОЛТЕР ЛЕВІН  
за участю ВОРРЕНА ГОЛЬДШТЕЙНА

# ПРОСТА ФІЗИКА

ВІД АТОМНОГО ЯДРА  
ДО МЕЖІ ВСЕСВІТУ

*Переклала з англійської  
Тетяна Сахно*

«НАШ ФОРМАТ» · КИЇВ · 2019

[Купити книгу на сайті kniga.biz.ua >>>](http://kniga.biz.ua)

# Зміст

<i>Вступ</i>	9
1. Від атомного ядра до глибокого космосу	17
2. Вимірювання, похибки і зорі	36
3. Тіла в русі	52
4. Магія пиття крізь соломинку	72
5. Навколо веселки	90
6. Гармонії струн і вітрів	114
7. Дива електрики	136
8. Загадки магнетизму	159
9. Збереження енергії — нічого не змінюється	178
10. Рентгенівські промені з космосу	199
11. Повітряні кулі й рентгенівські промені — перші кроки	210
12. Космічні катастрофи, нейтронні зорі та чорні діри	227
13. Небесний балет	245
14. Рентгенівські барстери	258
15. Способи бачення світу	271
<i>Подяки</i>	282
<i>Додаток 1. Стегнові кістки ссавців</i>	285
<i>Додаток 2. Закони Ньютона в дії</i>	287

## Вступ

**В**исокий на зріст, сухорлявий, одягнений у блакитну, схожу на робочу, сорочку із заковченими по лікті рукавами, штани карго кольору хакі, у сандалях і білих шкарпетках, професор міряє кроками аудиторію, розказує, жестикулює, часом роблячи промовисті паузи й зупиняючись між дошками і лабораторним столом. Перед ним здіймаються ряди стільців із чотирма сотнями студентів, які хоч і вовтузяться на своїх місцях, але очима прикуті до професора, який, здається, ледве стримує потужну енергію, що струменить у його тілі. Своїм високим чолом, неслухняним сивим волоссям, окулярами і ледь вловимим європейським акцентом, походження якого неможливо визначити, він чимось нагадує Дока Брауна із фільму «Назад у майбутнє» — наполегливого, дивакуватого і трохи схибленого вченого-винахідника.

Але це не гараж Дока Брауна — це Массачусетський технологічний інститут (МТІ), найкращий технічний університет у Сполучених Штатах, можливо, навіть у світі, а викладач біля дошки — професор Волтер Левін. Він зупиняється й розвертається до аудиторії. «Отже, основне у вимірюваннях, про що не згадують у жодному підручнику із фізики, — він розмахує руками, розчепіривши пальці, — це їхня похибка». Він замовкає, ступає крок, даючи студентам час обміркувати сказане, і знову продовжує: «Результат вимірювання не має сенсу, якщо ви не знаєте похибки». Руки знову розлітаються, розтинаючи повітря. Ще одна пауза.

«Я повторюю. Я хочу, щоб ви згадали це, коли прокинеться о третій ночі». Він тримає вказівні пальці біля скронь, і крутить

ними, наче намагається просвердлити мозок. «Якщо ви не знаєте похибки, результат вимірювання *не має жодного сенсу*». Студенти дивляться на нього в захваті.

Ми лише на 11-й хвилині 1-ї лекції курсу «Фізика 8.01» — найвідомішого у світі університетського вступного курсу із фізики.

У грудні 2007 року New York Times розмістила на першій шпальті статтю про Волтера Левіна і назвала його інтернет-зіркою з МТІ, бо лекції з фізики, які він читав, були доступні не лише на платформі МТІ OpenCourseWare, а й на YouTube, iTunes U та Academic Earth. Це одні з перших лекцій, які університет виклав в інтернет, і як виявилось згодом, не дарма. Вони надзвичайно популярні. Дев'яносто чотири лекції — три повні курси плюс сім окремих лекцій — щодня переглядають приблизно три тисячі людей, тобто мільйон переглядів на рік. Зокрема найактивнішим відвідувачем був не хто інший, як Білл Гейтс. Якщо вірити його листам (паперовим!) до Волтера, він повністю переглянув курси 8.01 «Класична механіка» й 8.02 «Електрика і магнетизм» і ледве міг дочекатися курсу 8.03 «Вібрації та хвилі».

«Ви змінили моє життя», — зазначено в темі листів, які Левін отримує щодня від людей різного віку з усіх куточків світу. Стів, флорист із Сан-Дієго, написав: «Я простую стрімкою ходою і споглядаю світ у барвах фізики». Мохамед, слухач інженерних підготовчих курсів з Тунісу: «На жаль, мої викладачі, на відміну від вас, не бачать жодної краси у фізиці, і я дуже страждаю через це. Їм достатньо, щоб ми просто навчилися розв'язувати “типові” задачі та успішно склали іспит, вони не дивляться далі цих вузьких меж». Сеєд з Ірану, який уже закінчив кілька магістратур в Америці, пише: «Я не мав справжньої радості в житті, поки не побачив, як ви викладаєте фізику. Професоре Левін, ви змінили моє життя. Ваше викладання варте в 10 разів більше, ніж коштує навчання, і перетворює ДЕЯКИХ, не всіх, учителів на злочинців. Учити погано — ТЯЖКИЙ ЗЛОЧИН». Або Сіддхартх з Індії: «Я зміг відчути фізику за межами рівнянь. Ваші студенти, як і я, завжди пам'ятатимуть вас як чудового вчителя, який зробив життя і навчання значно цікавішим, ніж можна собі уявити».

## Від атомного ядра до глибокого космосу

**Ц**е справді дивовижно. Батько моєї матері був неписьменним — сторожем. Минуло два покоління, і я вже професор МТІ. Мені багато дала голландська система освіти. Я вступив до аспірантури Делфтського технічного університету в Нідерландах, і одним пострілом убив трьох зайців.

Я одразу почав викладати фізику. Щоб оплатити навчання, мені довелося взяти позику в уряді Нідерландів на умовах щорічного списання її п'ятої частини, якщо я викладатиму повний робочий день, тобто щонайменше двадцять годин на тиждень. Іншою перевагою викладання було звільнення від армії. Військова служба — це найгірше, що могло зі мною статися, цілковита *катастрофа*. Я не терплю влади в будь-яких виявах. Такий маю характер. Рано чи пізно я почав би скаржитися, й мене б відправили драїти підлогу. Тому я двадцять дві години на тиждень викладав математику й фізику шістнадцятирічним-сімнадцятирічним учням у ліцеї Лібанон у Роттердамі. Я уникнув армії, міг не сплачувати частину позики і здобував докторський ступінь — і все це одночасно.

Також я навчився викладати. Мене захоплювала можливість навчати старшокласників, позитивно впливати на свідомість молоді. Я намагався робити заняття цікавими й веселими, хоча правила в самому ліцеї панували досить суворі. Над дверима кожного класу було зроблено невеликі віконця, і часом хтось зі шкільного керівництва вибирався на стілець і шпигував через нього за вчителями. Уявляєте?

Мене не засмоктала шкільна культура і, навчаючись в аспірантурі, я був сповнений ентузіазму. Я хотів передати цей запал учням, допомогти їм по-новому побачити красу навколишнього світу, вплинути на їхнє сприйняття і показати, що світ фізики прекрасний і що вона всюди, що вона пронизує наше життя. Я зрозумів, що має значення не матеріал, який ти *охоплюєш* під час викладання, а як ти його *подаєш*. Висвітлення теми в класі може бути нудним заняттям, і учні це одразу відчувають. З іншого боку, пояснюючи фізичні закономірності й показуючи учням, що криється за рівняннями, я демонструю процес пошуку з усією його новизною і захопленням, і учні обожають брати в цьому участь.

Також я мав нагоду робити це, хоч і в інший спосіб, за межами класу. Щороку учні з учителем могли на тиждень поїхати в скромно облаштований кемпінг у досить відлюдному місці; поїздку фінансувала школа. Ми з моєю дружиною одного разу з'їздили, і нам дуже сподобалось. Усі готували їжу разом і спали в наметах. Оскільки ми були далеко від вогнів міста, якось уночі ми розбудили дітей, дали їм гарячого шоколаду і повели дивитися на зорі. Ми шукали сузір'я і планети, і вони змогли побачити Чумацький Шлях у всій красі.

Я не вивчав і навіть не викладав астрофізику (взагалі-то я розробляв експерименти, що мали на меті виявити одні з найменших частинок у Всесвіті), але астрономія завжди зачаровувала мене. Насправді ледь не кожен фізик, який ходить по Землі, захоплюється астрономією. Багато моїх знайомих фізиків у старших класах сконструювали власні телескопи. Мій давній друг і колега по МТІ Джордж Кларк у школі відшліфував і відполірував 15-сантиметрове дзеркало для телескопа. Чому фізики так люблять астрономію? Насамперед тому, що багато досягнень у фізиці (наприклад, теорії руху небесних тіл уздовж орбіти) випливає із запитань, які ставили астрономи, їхніх спостережень і теорій. Крім того, астрономія — це і є фізика, її збільшена версія на нічному небі: затемнення, комети, метеори, кулясті скупчення, нейтронні зорі, гамма-спалахи, джети (струмені), планетарні туманності, наднові, скупчення галактик, чорні діри.

## Вимірювання, похибки і зорі

### Моя бабуся і Галілео Галілей

**Ф**ізика — наука за своєю суттю експериментальна, і вимірювання та їхні похибки лежать в основі кожного дослідження й відкриття. Навіть найвеличніші теоретичні досягнення у фізиці беруть початок із прогнозів щодо певних величин, які можна виміряти. Візьмімо, наприклад, другий закон Ньютона:  $F = ma$  (сила дорівнює масі, помноженій на прискорення), чи не найважливіше рівняння у фізиці; або знамениту формулу Ейнштейна  $E = mc^2$  (енергія дорівнює масі, помноженій на квадрат швидкості світла). Хіба фізики можуть подати співвідношення інакше, ніж через математичні рівняння з різними вимірюваними величинами, такими як, приміром, густина, вага, довжина, заряд, гравітаційне притягання, температура чи швидкість?

Визнаю, що, можливо, я трохи упереджений щодо цього питання, оскільки написав дисертацію за результатами надточного вимірювання показників різних типів ядерного розпаду, а мій внесок у рентгенівську астрономію на її початковому етапі полягав у вимірюванні високоенергетичного рентгенівського випромінювання від джерела, що перебуває на відстані десятків тисяч світлових років. Але без вимірювань фізику годі уявити. І, що ще важливіше, неможливо отримати значущі результати вимірювань, якщо не врахувати їхніх похибок.

Ви постійно припускаєте існування певних похибок, навіть не усвідомлюючи цього. Коли банк повідомляє про залишок на рахунку, ви очікуєте похибку менше ніж півкопійки. Коли ви купуєте одяг в інтернеті, розраховуєте, що не помилитеся з розміром,

а якщо прогадаєте, то хіба що трохи. Якщо штани 34-го розміру будуть більші чи менші на 3 відсотки, різниця в обхваті талії становитиме два з половиною сантиметри. Ви можете отримати або 35-й розмір, який висітиме на стегнах, або 33-й, що змусить вас дивуватися, коли це ви примудрилися так потовстішати.

Також надзвичайно важливо виразити результати вимірювання у правильних одиницях. Згадаймо одинадцятирічну програму Mars Climate Orbiter вартістю 125 мільйонів доларів, яка закінчилася катастрофічним провалом через плутанину з одиницями вимірювання. Одна група розробників використовувала метричну систему, тоді як інша — англійську систему мір, і в результаті у вересні 1999 року космічний апарат увійшов в атмосферу Марса, замість того, щоб вийти на сталу орбіту.

У цій книжці я переважно користуюся метричною системою одиниць, тому що вона більш звична для науковців\*. Температуру я наводитиму за шкалою Цельсія або Кельвіна (температура за Цельсієм плюс 273,15).

Моє беззастережне визнання вирішальної ролі вимірювань у фізиці стало однією із причин скептичного ставлення до теорій, які не можна підтвердити експериментально. Візьмімо, наприклад, теорію струн або її більш сучасну кузину, теорію суперструн, тобто найостаннішу спробу теоретиків запропонувати «теорію всього». Фізикам-теоретикам — а серед тих, хто працює в теорії струн, є блискучі науковці — ще потрібно придумати хоча б один експеримент, зробити хоча б один прогноз, аби перевірити котресь із положень теорії струн. У цій теорії нічого не можна підтвердити експериментально — принаймні поки що. Це означає, що теорія струн не має прогностичної сили, і тому деякі фізики, наприклад Шелдон Глешоу із Гарварду, сумніваються, чи можна її взагалі вважати фізикою.

Утім теорія струн має талановитих і красномовних прихильників. Один з них — Браян Грін; його книжка «Елегантний Всесвіт» (The Elegant Universe) і однойменна документальна стрічка

---

\* У цій книжці всі неметричні одиниці виміру, подані в оригіналі, переведено в метричні. — Прим. ред.



## Тіла в русі

**С**пробуйте одну цікаву штуку. Станьте на підлогові ваги — не на ті новомодні, що стоять у кабінеті вашого лікаря, і не на один з тих скляних цифрових пристроїв, який вмикається від дотику ногою, — а на звичайні підлогові ваги. Байдуже, босоніж ви чи у взутті (вам не потрібно справляти на когось враження), і не суттєво, яку цифру ви бачите і чи подобається вона вам. А тепер швиденько станьте навшпиньки і затримайтеся в цьому положенні. Ви побачите, що ваги неначе сказилися. Можливо, щоб зрозуміти, що відбувається, вам доведеться повторити ці рухи, бо все змінюється із блискавичною швидкістю.

Спершу стрілка рухається вгору, правильно? Потім вона повертається до показника вашої ваги, того, поки ви стояли нерухомо, втім, на деяких вагах стрілка (чи цифри на панелі) ще може трохи похитатися, перш ніж зупинитися. Далі, коли ви опуститеся на п'яти, особливо якщо ви зробите це швидко, стрілка спершу піде вниз, потім злетить вище позначки вашої ваги і повернеться, щоб зупинитися на цифрі, яку ви хотіли або не хотіли знати. У чому річ? Урешті-решт, від того, чи ви підніметеся навшпиньки, чи опуститеся на п'яти, ваша вага не зміниться. Або, може, зміниться?

Щоб з'ясувати це, нам потрібна, хоч вірте, хоч ні, допомога сера Ісаака Ньютона, мого претендента на звання найвизначнішого фізика всіх часів. Деякі мої колеги не погоджуються із цим, і ви, звісно, можете навести переконливі аргументи на користь Альберта Ейнштейна, але ніхто не сумнівається, що вони обидва найкращі.

Чому я голосую за Ньютона? Бо його відкриття фундаментальні й водночас такі різноманітні. Він вивчав природу світла і розвинув теорію кольору. Щоб досліджувати рух планет, він сконструював перший рефлекторний телескоп, на якому замість лінз, що використовували тоді в телескопах-рефракторах, було встановлено дзеркало. Це стало величезним кроком уперед, і навіть сьогодні майже всі телескопи побудовано за тими само базовими принципами. Вивчаючи особливості руху рідин, він започаткував один з основних розділів фізики; йому вдалося обчислити швидкість звуку (він помилився лише десь на 15 відсотків). Ньютон навіть закрив початки цілого розділу математики — математичний аналіз. На щастя, нам не доведеться вдаватися до обчислень, щоб оцінити його найдовершеніші досягнення, які отримали назву законів Ньютона. Сподіваюся, що в цьому розділі мені вдасться показати значущість цих начебто простих законів.

## Закони руху Ньютона

За першим законом Ньютона, тіло, яке перебуває в стані спокою, зберігає його, а тіло, що рухається, не припиняє руху в тому самому напрямку з незмінною швидкістю, якщо — в обох випадках — на нього не діятиме інша сила. Або словами самого Ньютона: «Тіло зберігає стан спокою чи рівномірного прямолінійного руху, поки його не виводять із цього стану прикладені до нього сили». Це закон інерції.

Концепція інерції нам знайома, але якщо замислитися, стане зрозуміло, що вона насправді нелогічна. Ми приймаємо цей закон на віру, хоч він явно суперечить нашому повсякденному досвіду. Врешті-решт, тіла рідко рухаються вздовж прямої лінії. І, безумовно, їхній рух зазвичай не триває нескінченно. Ми очікуємо, що в певний момент вони зупиняться. Гравцю в гольф ніколи б не спав на думку закон інерції, адже м'яч після удару рідко коли летить по прямій і часто зупиняється, не докотившись до лунки. Логічною була і досі залишається інша думка — тіла прагнуть до стану спокою, що панувала в європейській науці кілька тисячоліть, аж до революційного відкриття Ньютона.

## Магія пиття крізь соломинку

**Д**ля одного з моїх улюблених демонстраційних дослідів потрібні дві банки з-під фарби та рушниця. Я наповнюю одну банку водою до країв і щільно закриваю кришкою. Потім наповнюю другу, цього разу не доливаючи кілька сантиметрів до країв, і також щільно закриваю. Поставивши їх поряд на столі, я відходжу на кілька метрів до іншого столу, де стоїть перевернутий довгий білий дерев'яний ящик, у якому явно щось сховано. Я піднімаю ящик, і всі бачать рушницю на підпорі, націлену на банки з-під фарби. Студенти роблять великі очі: невже я стрілятиму на лекції?

«Що б сталося, якби ми прострелили ці бляшанки з-під фарби?» — запитує я. І не чекаю відповідей. Я нахиливаюся перевірити приціл і зазвичай ще трохи вовтужуся із затвором. Це допомагає створити напругу. Я видмухую пил з патронника, заряджаю кулю та оголошую: «Ну що, зараз вилетить. Ми готові?». Потім, стоячи збоку від рушниці, я кладу палець на курок, рахую «три, два, один» — і стріляю. Тієї ж миті кришка з однієї банки злітає високо в повітря, тоді як у другій залишається на місці. Як думаєте, у котрої з банок злітає кришка?

Щоб дати правильну відповідь, вам спершу треба знати, що повітря, на відміну від води, стискається. Молекули повітря, як і будь-якого газу, можуть наблизитися одна до одної, чого не можуть зробити молекули води (чи будь-якої іншої рідини). Щоб змінити густину рідини, потрібно докласти страшених сил і чинити тиск. Коли куля проходить крізь банки з-під фарби, вона створює всередині досить значний тиск. У неповній банці повітря виконує роль буфера, або амортизатора, тому вода залишається в тому са-

мому стані й банка не вибухає. Але в повній банці тільки вода, яка не стискається. Тому додатковий тиск, який створює куля у воді, зі значною силою діє на стінки та кришку банки, і в результаті кришку зриває. Загалом, це надзвичайно драматичне видовище, і на студентів воно щоразу справляє величезне враження.

## В оточенні тиску повітря

На лекціях про тиск я демонструю багато цікавинок, а тиск повітря особливо привабливий, тому що з ним пов'язано багато такого, що суперечить інтуїції. Зазвичай ми навіть не замислюємося, що перебуваємо під тиском повітря, але коли беремося його шукати, нам аж перехоплює подих. Щойно ми усвідомлюємо, що він є (і приймаємо цей факт), ми починаємо бачити його вияви всюди: від повітряних кульок до барометрів; у тому, як п'ємо через соломинку, і тому, як глибоко можемо пірнути і плавати з маскою і трубкою.

Виявляється, що явища, яких ми одразу не помічаємо і які сприймаємо як належне, наприклад сила тяжіння чи атмосферний тиск, чи не найбільш захопливі в природі. Це нагадує анекдот про двох риб, які весело собі пливуть річкою. Одна риба повертається до другої і скептично запитує: «Що це останнім часом за балачки про якусь “воду”?».

У нашому випадку ми сприймаємо як належне вагу і щільність нашої невидимої атмосфери. Взагалі-то, ми живемо на дні безмежного повітряного океану, який щосекунди і щодня чинить на нас значний тиск. Тепер уявіть у мене в руці довжелезну трубу квадратного перерізу завтовшки 1 сантиметр, яка балансує на моїй долоні та піднімається вгору аж до верхніх шарів атмосфери. Це більше ніж 100 кілометрів. Тільки повітря в трубі — забудьте про саму трубу — важитиме приблизно 1 кілограм. Це один зі способів вимірювання атмосферного тиску: тиск 1,03 кілограма на квадратний сантиметр називають стандартною атмосферою.

---

\* Пам'ятайте, науковці, я тут послуговуюся радше повсякденною, ніж науковою мовою. Хоч кілограм — це насправді одиниця маси, а не ваги, його часто вживають і так, і так, що я і роблю.

## Навколо веселки

**У** нашому повсякденному житті так багато маленьких див — справді приголомшливих — більшість часу залишаються непоміченими, бо нас не навчили їх бачити. Пригадую, якось уранці, чотири або п'ять років тому, я пив еспресо, сидячи на своєму улюбленому червоно-синьому стільці Рітвельда, і несподівано помітив на стіні неймовірно гарний візерунок із круглих цяток світла серед мерехтливих тіней, які падали від листя дерева за вікном. Мої очі випромінювали радість від того, що я їх помітив. Моя дружина С'юзан, ще не зрозумівши, що сталося, поцікавилася із властивою їй проникливістю, у чому річ.

«Знаєш, що це таке? — відповів я, вказуючи на сонячні кола. — Ти розумієш, звідки вони беруться?» Тоді я пояснив. Можливо, ви очікували, що світло, падаючи на стіну, утворюватиме багато маленьких мерехтливих відблисків, а не плями, правильно? Але кожен невеличкий просвіт між листям діє неначе камера-обскура, яка відтворює зображення джерела світла — у нашому випадку сонця. Форма просвітів не має значення: якщо вони маленькі, то відблиски на стіні повторюватимуть форму самого джерела світла.

Тому під час неповного сонячного затемнення світло, що летиться крізь моє вікно, більше не утворюватиме кіл на стіні: усі кола будуть надщербленими, тому що таку форму матиме затемнене сонце. Про це було відомо ще Аристотелю понад 2000 років тому! Я був у захваті, побачивши на стіні власної спальні ці відблиски, які демонструють дивовижні властивості світла.

## Таємниці веселки

Хоч би куди ми глянули, усюди можемо побачити неймовірні світлові явища — іноді їх можна спостерігати в буденних речах, а деколи в найпрекрасніших витворах природи. Наприклад, веселки — надзвичайне явище. І вони повсюди. Відомі науковці, зокрема Ібн аль-Хайсам, арабський учений і математик XI століття, «батько» оптики, Рене Декарт, французький філософ, математик і фізик, а також сам сер Ісаак Ньютон, зачаровувалися веселками і намагалися їх пояснити. А проте більшість сучасних викладачів фізики не приділяють належної уваги цьому фантастичному явищу. Мені просто не віриться. Я вважаю, що це *злочин*.

Фізика веселки не те щоб проста. То й що? Як можна не братися за те, що має такий потужний вплив на нашу уяву? Як можна не хотіти розгадати таємницю, яка криється за внутрішньою красою цих неймовірних творінь? Я завжди любив читати лекції про веселки і перед цим незмінно казав студентам: «Після цієї лекції ваше життя зміниться назавжди!». Те саме стосується і вас.

Колишні студенти і ті, хто дивився мої лекції онлайн, уже не одне десятиліття надсилають мені прекрасні фотографії веселок та інших атмосферних явищ. Таке відчуття, наче я керую всесвітньою мережею мисливців на веселки. Серед цих світлин трапляються надзвичайні — особливо з Ніагарського водоспаду, де через величезну кількість дрібних бризок веселки просто приголомшливі. Можливо, ви теж захочете надіслати мені фотографії. Буду радий!

Упевнений, що за своє життя ви бачили десятки, якщо не сотні веселок. Якщо ви були у Флориді чи на Гаваях або десь ще в тропіках, де часто під час зливи світить сонце, то бачили їх навіть більше. Якщо ви сонячного дня поливали галявину зі шланга або розбризкувача, то, можливо, самі створювали веселки.

Більшість із нас часто *дивилася* на веселки, проте дуже мало хто з нас їх *бачив*. У давніх міфах веселку називали дугою богів, мостом або дорогою, що поєднує світ смертних зі світом богів. У західній культурі у Старому завіті веселка була втіленням обіцянки Бога більше не посилати на Землю нищівний потоп: «Я веселку Свою дав у хмарі».

Одна із причин привабливості веселок — їхній розмах, те, як вони, величні й такі короточасні, розкидаються на все небо. Але, як це часто буває у фізиці, за цією величчю стоїть незліченна кількість надзвичайно малого — крихітних, інколи діаметром менше міліметра, сферичних краплинок води, розсіяних у повітрі.

Хоча вчені намагалися обґрунтувати виникнення веселки впродовж тисячоліття, перше переконливе пояснення запропонував Ісаак Ньютон у праці «Оптика», опублікованій 1704 року. Він одночасно зрозумів кілька речей, які мають важливе значення для формування веселки. По-перше, учений показав, що звичайне біле світло складається з усіх кольорів (я хотів сказати «з усіх кольорів веселки», але так ми надто забігли б наперед). Пропустивши світло крізь скляну призму, він розділив його на кольори-складники. Потім, спрямувавши це заломлене світло назад крізь іншу призму, він знову поєднав кольорове світло в біле, довівши, що сама призма жодним чином не забарвлює світла. Також він з'ясував, що багато різних речовин, зокрема вода, можуть заломлювати світло. І так він зрозумів, що в основі виникнення веселки лежить заломлення світла в дощових краплях і його відбивання.

Веселка на небі, як цілком правильно вирішив Ньютон, — це результат взаємодії між сонцем, силою-силенною дощових крапель і вашими очима, які повинні спостерігати за цими краплинами точно під потрібними кутами. Щоб зрозуміти, як виникає веселка, потрібно зупинитися на тому, що відбувається, коли світло потрапляє на дощову краплю. Але пам'ятайте: все, що я скажу про цю одну краплю, стосується незліченної кількості крапель, з яких складається будь-яка веселка.

Щоб побачити веселку, потрібно дотримуватися трьох умов. По-перше, сонце має бути у вас за спиною. По-друге, в небі перед вами мають бути дощові краплі — чи за кілька кілометрів, чи лише за кілька сотень метрів від вас. По-третє, на шляху сонячного світла до крапель не повинно бути жодних перешкод, наприклад хмар.

Коли пучок світла потрапляє в дощову краплю і заломлюється в ній, він розпадається на кольорові пучки. Найменше заломлюється червоне світло, а найбільше — фіолетове. Усі ці різнокольо-

ПРОСТА

# Фізика

ВОЛЬТЕР ЛЕВІН

ВІД АТОМНОГО ЯДРА  
ДО  
МЕЖІ ВСЕСВІТУ

Купити книгу на сайті [kniga.biz.ua](http://kniga.biz.ua) >>>