

ЛЮДВІГ БОЛЬЦМАН — ВИДАТНИЙ АВСТРІЙСЬКИЙ ФІЗИК

Дана стаття присвячена річниці з дня смерті (5 вересня 2006 року) видатного австрійського фізика Людвіга Больцмана. У статті розглядається життєвий та творчий шлях вченого, висловлювання сучасників Больцмана про нього. Також я намагаюся розкрити Людвіга Больцмана як особистість. Сподіваюсь, що матеріал статті може допомогти і на уроках фізики для її цікавого викладення, і в позакласній роботі з фізики.

Дитинство Людвіга Больцмана

Людвіг Едуард Больцман народився у місті Відень 20 лютого 1844 року, в ніч між останнім днем веселого свята Масляної, сповідальним вівторком, і першим днем Великоднього посту — так званою попільною серединою. У зв'язку з цим Больцман з гумором говорив, що дата його народження була причиною того, що його настрій може несподівано різко змінюватися від великої радості до глибокого сумування.

Дід Больцмана, Людвіг Готфрід, був власником годинникової майстерні, де виготовлялися годинники і куранти. Жив він в імператорській столиці — місті Відень, де в 1802 році народився батько Людвіга Больцмана, Людвіг Георг. Він працював в імператорській внутрішній податковій службі. В 1837 році він одружився на Марії Паурфайнд, дочці купця із Зальцбурга. Батьки Людвіга Больцмана поселились спочатку в Велсі, а потім — в Лінці. До вступу у гімназію Людвіг певний час вчився із вчителем вдома. У Больцмана були брат, старший за нього на два роки, і молодша сестра. Але обоє вони померли в молодому віці. Брат помер, коли йому було 15 років, від запалення легень, а сестра — у віці 30 років.

Батько Больцмана (як і всі його предки) був протестантом. Тому під впливом матері діти виховувалися в офіційній католицькій вірі. Зрозуміло, батько в питаннях релігії значної ролі не відігравав.

У п'ятнадцять років Людвіг Больцман залишився без батька, який помер від туберкульозу. В цей час сім'я мала жити на маленьку пенсію. Але мати все ж намагалася дати своєму синові якнайкращу освіту. Отже,

в 1863 році, закінчивши на відмінно гімназію в Лінці, Людвіг вступає до Віденського університету.

З дитинства Людвіг відрізнявся великими здібностями і працелюбністю, в шкільні роки він був одним із найкращих учнів у класі. Окрім навчання в школі, він бере уроки гри на фортепіано. До речі, деякий час його вчителем був відомий композитор Антон Брукнер (1824—1896). Любов до музики Больцман зберіг на все життя. У майбутньому він напише, що в години відпочинку грає на піаніно, згадуючи по пам'яті опери, фрагменти оркестрових творів.

Період життя Л. Больцмана з 1863 до 1876 року

У 1863 році Людвіг вступив до Віденського університету (він був заснований імператором Рудольфом IV у 1365 році), де вивчав математику і фізику. Першим вчителем Больцмана був професор університету Йозеф Стефан (1835—1893). Про перше знайомство зі Стефаном, Больцман згадував: «Коли я, ще будучи студентом, познайомився із Стефаном, він перш за все дав мені статтю Максвелла, оскільки я не знав жодного слова англійською мовою, ще англійську граматику, словник я одержав від батька».

У 1865 році Людвіг Больцман опублікував свою першу наукову працю, яка мала назву «Рух електрики на кривих поверхнях». Через два роки він закінчує Віденський університет і став асистентом-професором Інституту фізики, а в 1868 році здобув ступінь доктора. У 1869 році Больцман став професором математичної фізики університету в Граці, де проживав до 1873 року.



Використовуючи короткі відпустки, в 1972 році Больцман працює з Буденом і Кепігстерером в Гейдельберзі та з Кірхгофом і Гельмгольцем у Берліні. У січні цього року він писав своїй матері: «Вчора я виступав у Фізичному товаристві Берліна, ти можеш собі тільки уявити, що я намагався зробити все, що в моїх силах, для того, щоб не осоромити мою Батьківщину. Тому в останні дні перед виступом моя голова була повна інтегралами... Але, як виявилось, багато зусиль не потрібно було, оскільки більша частина аудиторії не розуміла мого виступу. Однак Гельмгольц підійшов до мене, й між нами відбулася цікава дискусія. Ти знаєш, як я дуже люблю наукові дискусії, і можеш собі уявити, наскільки я зрадів. Тим більше, що Гельмгольц не дуже доступний іншим чином. Хоч він завжди працює в лабораторії біля мене, я ще майже не розмовляв з ним».

В Граці Людвіг Больцман познайомився зі своєю майбутньою дружиною Генрістою фон Аїгентлер (вона була молодшою за нього на десять років). Генріста фон Аїгентлер намагалася вивчати математику та фізику в університеті, але за тих часів для жінок це було майже неможливим.

В 1873 році Больцман повернувся у Відень як професор, він викладав курс диференціальних рівнянь, теорію чисел і ряд інших математичних курсів, зокрема курс математичних проблем механічної теорії теплоти.

МАТЕРІАЛИ ДО УРОКУ

Життя Больцмана
в Граці (1876–1890)

У 1876 році Людвіг Едуард Больцман повернувся в Грац у званні професора експериментальної фізики і директора нещодавно організованого (у 1875 році) при університеті невеликого інституту, директором якого спочатку був відомий фізик А. Теплер, що переїхав у місто Дрезден в 1875 році. Больцман прагнув посісти його місце з кількох причин. Одна з них — тяжкий гніт бюрократизму у Граці був все ж менший, ніж у Відні. Тут він мав можливість читати курс фізики, і, окрім того, його майбутня дружина була з цього міста.

Больцман заступив на нову посаду саме в той час, коли було призначено його весілля з Генрієтою фон Айгентлер, наступні роки в Граці (приблизно чотирнадцять років), стали найшасливішими роками його життя. Він створив сім'ю, в якій було п'ятеро дітей. Больцман спочатку обіймав посаду декана філософського факультету (1878 рік), а потім ректора університету (1887 рік). Жив зі своєю сім'єю в маленькому будинку. Свій вільний час він присвячував заняттям музикою, а також дуже любив природу і часто прогулювався гарними околицями Граца. Захоплювався літературою, особливо творами свого улюбленого поета Фрідріха Шіллера. Больцман любив вечірні бесіди в колі своїх учнів старших семестрів та колег. Ці бесіди, як правило, тривали до глибокої ночі. Під час цих бесід проявлявся його чудовий гумор. Він читав свої веселі вірші, серед яких були й гумористичні вірші про Бетховена під заголовком «Бетховен в небесах».

За роки викладання експериментальної фізики в університеті Граца Больцман придумав і виконав багато механічних моделей для ілюстрації теоретичних концепцій.

Життєвий та творчий шлях
з 1890 по 1903 роки

У 1890 році Больцман прийняв запрошення обійняти посаду професора теоретичної фізики в Мюнхенському університеті, де працював до 1894 року. Тут він раз на тиждень зустрічався з групою колег, до якої входили математики Дік і А. Прінгсгейм, фізики Ломмель і Зонке, хімік Байер, астро-

ном Зеслігер та інженер холодильної справи Лінде.

У 1894 році Людвіг повернувся у Відень і став керівником кафедри теоретичної фізики свого вчителя Йозефа Стефана, який помер у 1893 році.

У 1900 році Больцман прийняв запрошення переїхати до Німеччини, до Лейпцизького університету, як професор теоретичної фізики. Однак, імовірно, велике бажання повернутися на Батьківщину (в Лейпцигу Больцман сумував за Батьківщиною та за австрійськими горами, крім того, йому не подобалось саксонська кухня) і постійні дискусії з В. Освальдом, який також працював у Лейпцигу, стосовно дуже важливих для Людвіга Больцмана питань атомістики призвели до того, що в 1902 році він повернувся у Відень на свою ще не зайняту кафедру теоретичної фізики. Крім того, 1903 року Е. Мах через хворобу залишає викладацьку діяльність, і Больцман замінює його, прийнявши кафедру натурфілософії (методика і загальна теорія суспільних наук).

Під час відпусток Больцман здійснював далекі подорожі. Він відвідав Константинополь, Смирну, Алжир, Лісабон. Серед його багатьох подорожей найбільш далекі були в Сполучені Штати Америки. В 1899 році він прочитав чотири лекції про основні принципи і рівняння механіки в університеті Ворчестера, потім в 1904 році відвідав конгрес в Сент-Луїсі, а в 1905 році прочитав 30 лекцій в літній школі в Каліфорнійському університеті в Берклі.

На відкритих лекціях Больцмана у Віденському університеті, які проходили з великим успіхом, були присутні до 600 глядачів (26 і 27 жовтня 1903 року) — для тих часів неймовірна кількість відвідувачів. Його лекції з теоретичної фізики також відвідували студенти з інших факультетів. Студенти явно ділились на послідовників атомізму Больцмана, антиатомістів і феноменологістів-махівців і «центристів», які не могли визначитись між двома світоглядомі відомих вчених. Під час його першої лекції з філософії зал був уквітчаний гілками білої піхти, і лекція закінчилася теплими оваціями слухачів. Всі газети писали про що подію. Пошта Больцмана була переповнена листами однодумців.

Переїзди Больцмана

У літературі існує думка про неспроможність Больцмана прожити довго на одному місці, про недружелюбність, через що він нібито часто змінював місця роботи. Однак це неправильно. Достатньо згадати, що, незважаючи на запальні наукові дискусії з Освальдом і Махом, їх особистісні стосунки залишалися добрими.

Причиною частих змін місць роботи насправді були зміна наукових інтересів Больцмана і фінансові проблеми його великої сім'ї, адже видатний фізик мав 5 дітей (для кращого розуміння шляхів переїздів Больцмана нижче наведена таблиця, в якій вказані роки переїздів, місто, в яке переїхав, та основний предмет, який викладав).

Роки	Місто, предмет
1869–1873	Грац, Математична фізика
1873–1876	Відень, Математика
1876–1890	Грац, Експериментальна фізика
1890–1893	Мюнхен, Теоретична фізика
1894–1900	Відень, Теоретична фізика
1900–1902	Лейпциг, Теоретична фізика
1902–1906	Відень, Теоретична фізика

Л. Больцман і революція
у фізиці (кінець XIX —
початок XX ст.)

У 1904 році Больцман вже передбачав нашу сучасну картину хімічної еволюції і самоорганізації біологічних молекул. У нелінійних системах, далеких від термодинамічної рівноваги, статистичні флуктуації, передбачені Больцманом, можуть призводити до метастабільного стану в обмеженій області простору, що відповідає значному молекулярному порядку. Але глобально, зрозуміло, друге начало термодинаміки виконується.

Кінець XIX — початок XX століть — це час революції у фізиці (в науці взагалі), коли виникла нова електронна, квантова і релятивістська фізика. Це час докорінних змін фізичної картини світу, створення чудових для класичної фізики концепцій, понять, математичних теорій. Сучасникам, як зазвичай буває, складно оцінити масштаби,

важливість нового в процесі його формування й утвердження. Тому не дивно, що і Людвіг Больцман, апогей творчого розкриття якого припав на 70–90 роки XIX століття, не все зрозумів у новій неklasичній фізиці.

Згідно з повідомленням лауреата Нобелівської премії Л. Мейтнера, у своїх лекціях у Віденському університеті він не згадував ні про квантову теорію Планка (1900 рік), ні про ейнштейнівське пояснення фотоелектру і брουνівського руху (1905–1906 роки).

У праці Больцмана радіоактивність згадується лише випадково, а квантова теорія і спеціальна теорія відносності не згадуються взагалі, хоча він про них знав (1896, 1900), а з останньою міг ознайомитися (1906).

Він міг би обійти увагою те принципово нове, що було винайдено у фізиці, як колись проконсул Ахен Гелліей, один із освічених людей свого часу, зіткнувшись тет-а-тет з апостолом Павлом, не зрозумів, що перед ним просвітник нового світогляду, християнства, яке більш ніж на тисячоліття визначить розвиток розумового і не тільки розумового життя Європи. Але цього з Больцманом не сталося — його проникливий погляд осягнув суть того, що відбувалося у фізиці. Він зрозумів, що з електронною теорією прийшло щось принципово нове, що змінює все головне у фізичній теорії — взаємовідношення і взаємозв'язки явищ мікрокосмосу та макрокосмосу. У 1904 році він спеціально підкреслив цю подію, в якій передбачав не тільки можливість немеханічного пояснення явищ природи, але й доведення того, що шлях до такого пояснення міститься у вивченні законів мікрокосмосу.

Тоді виникає запитання: яка ж, на думку Больцмана, перспектива розвитку фізичної науки?

Больцман писав: «Якщо говорити про майбутні століття чи тисячоліття, то я із задоволенням погоджусь з тим, що було б сміливо сподіватися, що сучасна механічна картина збережеться на завжди — також лише у своїх суттєвих ознаках. Тому я дуже далекий від того, щоб недооцінювати спроби відшукати несагальні рівняння, частковими випадками яких є механічні рівняння... Я хочу лише протистояти легко-

важності, яка оголошує стару механічну картину світу перейденою точкою зору, не дочекавшись, поки в деталях буде відпрацьована інша..., легковажності, яка і не уявляє собі труднощів створення нової картини світу».

Через сім років він писав: «Викладає не вище я написав близько семи років тому. Останній абзац являє собою вимоги, виставлені мною сім років назад. Я спеціально опублікував все це без змін. Те, чого я чекав через століття чи через тисячоліття, на половину здійснилося протягом семи років. Але промінь надії на немеханічні пояснення природи виходив не від енергетики, не від феноменології, а від атомної теорії, фантастичні гіпотези якої так само переважають стару атомну теорію, як її елементарні образи за своєю малістю переважають старі атоми. Не потрібно говорити про те, що я маю на увазі сучасну електронну теорію. Вона, зрозуміло, не прагне пояснити поняття маси і сили, закон інерції із простого, легко зрозумілого; її прості основні поняття і закони, мабуть, залишаться такими ж не поясненими, як закони механіки для механічної картини світу. Але ймовірність можливості вивести всю механіку із інших уявлень, необхідних для пояснення електромагнетизму, була б так само велика, як і навпаки — механічне пояснення явища електромагнетизму. Нехай ця перша можливість здійсниться, і виконається моя вимога, яку я виклав сім років тому».

Останні роки життя Больцмана

У 1902–1906 роках фізичний і психологічний стан Людвіг Больцмана був не найкращим. Він боявся ослаблення своєї духовної, творчої сили. Нервова система не могла витримати такого надлюдського навантаження. Крім того, Больцману заважали астматичні напади, і, мабуть, грудна жаба була причиною тяжкої хвороби. Він мав у Відні щотижня 5 годин лекцій з теоретичної фізики і кожний третій семестр курсу щонайменшою мірою одна година на тиждень. Починаючи з 1903 року він читав ще дві години на тиждень курсу філософії (замість Е. Маха).

У цей час Больцман наближався до кінця свого життєвого шляху. В 1903 році

його дружина писала дочці: «Батькові гіршає щодня. Я не маю віри у майбутнє. Я сподіваюсь на краще життя у Відні». Нервова система Больцмана згасала і від постійних наукових дискусій з опонентами. Його зір погіршився настільки, що він боявся читати. Учений був вимушений взяти на роботу працівника, який читав йому наукові статті, а його дружина писала його статті. Можна тільки уявити, наскільки велике педагогічне навантаження разом із науковою роботою перевищувало той мінімум, що могло витримати його слабке здоров'я.

З приводу поганого стану Больцмана А. Хофлер писав: «Коли я відвідав його під час великодніх святкових днів 1906 року востаннє, він сказав про свої фізичні і психологічні страждання так: «Я ніколи б не повірив, що такий кінець можливий». А. Л. Фламм писав: «Разом з іншими студентами я екзаменувався у нього на віллі в Währig'e. Виходячи після екзамену, ми чули із передньої його стогони».

5 вересня 1906 року Людвіг Больцман помер. Напередодні він вивіз свою сім'ю в Дубно — маленький гарний курорт на березі Адріатичного моря, збираючись поплавати, хоч і був збуджений і в нервовому стані, тому що бажав повернутися у Відень. Взагалі, думалось, що його стан має покращатись. В день своєї смерті, Больцман був особливо збудженим.

Трагедією Больцмана було те, що він не дожив до чудової перемоги своїх ідей. Він пішов з цього світу, коли вирішальна битва ще не завершилася, але перемога в ній була такою близькою. Ідеї Больцмана, одержані ним наукові результати стали не лише історією науки, а й надбанням фізики та багатьох близьких до неї наук, які зароджувалися й активно розвивалися протягом XX століття. Про це дуже емоційно написав Зоммерфельд: «...до нашої туги додається почуття подяки за все ним досягнуте, за захоплення, яке від нього виходило, за переданий приклад самопожертвування і відданості своєму ідеалу».

Висловлювання про Больцмана

В. Кінцль: «Він був високого росту, сильний, з масивним черепом, з каштановим волоссям, широким рум'яним

МАТЕРІАЛИ ДО УРОКУ

обличчям, кам'яною бородою; через короткозорість постійно носив окуляри. Те, що він був глибоко освіченою людиною, не зменшувало його дитячої наївності, як це часто буває у людей сконцентрованих, видатних у вищих духовних сферах».

Особливо глибоко захоплювався працями Больцмана А. Зоммерфельд, який мав багато учнів, в тому числі В. Гейзенберга і В. Паулі. Він писав: «Ніхто, ні Максвелл, ні Гіббс, не думав так глибоко, як Больцман про перевагу напряду процесів у природі та їх ймовірні пояснення».

Хазенорль писав: «Здатність зрозуміти внутрішній світ учнів, зацікавленість в його розвитку, доброзичливість і симпатія, одним словом, людинолюбне серце — ось що характеризує гарного вчителя... Цими якостями володів Больцман».

М. Планк «обернувся із Савка в Павла», коли застосовував метод Больцмана для того, щоб вивести свій видатний закон розподілу енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла. Насправді, Больцман сам і підштовхнув Планка використовувати його методи. У 1887 році він писав: «Зрозуміло, можливим і в будь-якому випадку достойним подяки було одержати деякий аналог теореми ентропії також і для явища випромінювання, виходячи із загальних законів цих явищ і керуючись такими ж принципами, які прийняті в теорії газів. Тому мене й порадувало, якщо б спробувати з цією метою роздуми Планка про закон розсіювання електричних плоских хвиль на дуже малих резонаторах виявилися корисними».

Лекції в студентській аудиторії Больцман розглядав як спільний творчий процес студента і викладача. «Академічна лекція в найвищому розумінні слова має на меті не стільки навчати готових розв'язків проблем, скільки ставити ці проблеми і спонукати до їх розв'язування».

Лізе Шейтнер, який слухав лекції Больцмана в 1902–1906 роках, згадує: «Він користувався трьома дошками. У центрі стояла дуже велика дошка, на якій він писав свої основні розрахунки, а по боках — ще дві, куди він заносив допоміжні розрахунки. Причому все писалось чітко і зрозуміло;

дивлячись на ці дошки, можна було згадати всю лекцію. Він настільки захоплювався тим, чого вчив нас, що після кожної лекції ми виходили з почуттям, нібито нам відкрився зовсім новий і чудовий світ. Він був людиною, яка викликала захоплення і прив'язаність».

До портрета Больцмана слід додати, що він був добрим, дуже любив своїх дітей, любив природу, часто здійснював довгі прогулянки, добре знав ботаніку, збирав гербарій і мав колекцію метеликів, захоплювався ковзанями в зимовий час і плаванням влітку. Больцман звик прокидатися рано вранці і в останні роки життя починав працювати вже о 5 годині ранку.

Учні Больцмана

Найбільш відомими учнями Людвіга Больцмана в Граці, які стали в майбутньому видатними вченими, були Сванте Аррентус (1859–1927) і Вольгер Нернст (1864–1949). В Мюнхені його учнем був японський фізик Хантаро Нагаока (1865–1950), у Відні — Пауль Еренфест (1864–1941), Л. Фламм (1885–1966), Л. Мейтнер (1878–1968). Його асистентом у Відні був Стефан Мейер (1872–1949), який працював у майбутньому головним чином у галузі радіоактивності та ядерної фізики, а наступником Больцмана на кафедрі теоретичної фізики в 1907 році став його учень Фріц Хазерноль (1854–1917). Хазерноль під впливом Больцмана працював у галузі молекулярно-кінетичної теорії термодинаміки й електродинаміки. Він першим спробував на основі квантової теорії інтерпретувати спектральну серію Бальмера.

Ейнштейн був близьким другом учня Больцмана П. Еренфеста, який, можливо, виклав йому ідеї Больцмана. За словами самого Ейнштейна, його праця про броунівський рух в 1905 році була виконана в стилі Больцмана. У цій роботі Ейнштейн намагався довести реальність атомів і знайти розмір деяких атомів, використовуючи молекулярні флуктуації, які постулював Больцман. М. Смолюховський (1872–1917) також називав себе учнем Больцмана.

Найбільш відомими «інтелектуальними онуками» Больцмана є Е. Шредінгер і В. Вайскопф. Шредінгер слухав лекції Хазерноля, а Вайскопф багато

чого навчився в учня Больцмана Еренфеста. Обидва, Шредінгер і Вайскопф, подібно до Больцмана, були вченими широкого кола інтересів і писали про фізичну концепцію життя.

Творчий здобуток

У 1905 році Больцман видає книгу «Populare Schriften» («Популярні статті»). Цю книгу він присвятив своєму улюбленому поету Фрідріху Шіллеру, написавши: «Присвячується Шіллеру, неперевершеному майстру правдивого зображення подій, з глибини серця якого йде захоплення, в столітню роковину після його переходу у безсмертя». Про вплив на нього Шіллера сам Больцман говорив так: «Без Шіллера я міг, зрозуміло, бути людиною з моїм носом та бородою, але це був би не я».

Для того, щоб одержати уявлення про масштаби творчих пошуків Людвіга Больцмана в галузі теоретичної і експериментальної фізики, теорії пізнання, в загальних методологічних питаннях фізичної науки, наведемо нижче, у табличній формі, інформацію про кількість його наукових праць (зрозуміло, вона дає тільки приблизну картину, оскільки і статті обсягом у сто сторінок, і статті в 2–3 сторінки мають однакову значущість).

Тема	Кількість праць
Термодинаміка	8
Загальні механічні аналогії другого начала	8
Кінетична теорія газів	47
Питома теплоємність	4
Тертя, в'язкість	5
Дифузія	2
Рівняння стану і дисоціація	7
Визначення діелектричної сталості	7
Про теорію Максвелла	5
Ефект Холла, термоелектрика і близькі питання	6
Вчення про електрику	1
Механіка	1
Теплове випромінювання	5
Про енергетику	4
Різні розділи фізики	8

Тема	Кіл-ть праць
Математика	4
Теорія пізнання	11
Пам'ятні промови	4
Популярні доповіді	6

Після смерті Людвіга Больцмана

В пам'ять про Людвіга Больцмана в 1912 році біля Віденського університету був встановлений його постамент. Пам'ятною дошкою на споруді університету Граца відзначена діяльність Больцмана в ньому. Також вулиця, на якій у Відні знаходяться Фізичний і Хімічний інститути, одержала назву Boltzmann-gasse. У липні 1913 році громада міста Відня взяла під своє опікування могилу Больцмана на Центральному Віденському цвинтарі. На могилі в червні 1933 року був встановлений постамент Больцмана, зроблений із білого мармуру скульптором Амброзі. На бюсті написали формулу, яка, як виразився Тіррінг у своїй доповіді на відкритті постаменту, «збереже свою силу і тоді, коли всі пам'ятники будуть покриті сміттям тисячоліття»:

$$S = k \cdot \ln W$$

За словами А. Зоммерфельда, «ця формула ширяє на фоні хмар, які плавають над могилою великого Больцмана».

Протягом 80 років по смерті Больцмана було опубліковано 87 книг і статей,

присвячених йому, його науковій творчості і впливу його наукових результатів та ідей на подальший розвиток науки, тобто щороку виходило у світ більше однієї статті чи книги.

Столітній ювілей Больцмана припав на тяжкі роки Другої світової війни і не був відсвяткований. У цій війні зник (за словами його онука, професора фізики Д. Фламма) архів Больцмана. П'ятдесятіліття від його смерті було відзначено в СРСР 5 вересня 1956 року засіданням Відділення фізикоматематичних наук АН СРСР. На ньому свої доповіді з цього приводу прочитали Л. Фламм, М. М. Боголюбов, Ю. В. Саночкін.

Пам'ять про Больцмана залишиться у фізиці назавжди в шести фундаментальних співвідношеннях, рівняннях і величинах:

- 1) розподіл Максвелла—Больцмана;
- 2) H -теорема Больцмана;
- 3) співвідношення $S = k \cdot \ln W$ Больцмана;
- 4) кінетичне рівняння Больцмана;
- 5) закон випромінювання Стефана—Больцмана;
- 6) універсальна стала Больцмана.

Де зустрічається ім'я Людвіга Больцман під час вивчення учнями шкільного курсу фізики?

Отримати відповідь можна під час вивчення розділу молекулярної фізики — основи молекулярно-кінетичної теорії.

Там ми зустрічаємося із формулою визначення середньої кінетичної енергії молекул

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

У цій формулі вперше знайомимося із коефіцієнтом k . Цей коефіцієнт називається сталою Больцмана. У даній формулі стала Больцмана показує, наскільки зміниться кінетична енергія однієї молекули у разі зміни температури на один кельвін. Числове значення сталої можна знайти лише експериментально. Через особливу важливість цієї сталої її було визначено декількома способами. Всі вимірювання показали, що $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К. Також у цьому розділі подано коротку біографічну характеристику Людвіга Больцмана [4].

Існують інші приклади зустрічі з Больцманом. Але вони не такі яскраві.

Література

1. *Больцман Л.* Статті и речи. — М.: Наука, 1970.
2. *Больцман Людвиг.* Избранные труды. Серия «Классики науки». — М.: Наука, 1984. — 589 с.
3. *Полак Л. С.* Людвиг Больцман 1844—1906. — М.: Наука, 1987. — 208 с.
4. *Гончаренко С. У.* Фізика-10. — К.: Освіта, 2002. — 319 с.

Слюсаренко В. В.,
с. Варварівка, Долинський р-н,
Кіровоградська обл.

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК
ПРОПОНУЄ

Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О.

ФІЗИКА

Зошит для лабораторних робіт. 7, 8, 9, 10, 11 класи

Кожна лабораторна робота цього зошиту складається з трьох частин:

- ✓ Короткий сюжет із життя підлітка. Тема сюжету безпосередньо пов'язана з темою подальшої лабораторної роботи.
- ✓ Домашня робота, яку учні виконують, використовуючи рисунки, а не реальні пристрої.
- ✓ Безпосередньо сама лабораторна робота, яка завдяки попередньому приготуванню виконується усвідомлено та швидко.

Ціна 7.50 грн



а/с 3355, Харків 61045
ВИДАВНИЦТВО «Навчальна книга»
РАНОК
(057) 717-74-55

Я замовляю післязавдання
ФІЗИКА.

Зошит для лаб. робіт.

КОД	МОДЕЛЬ		ЦІНА
	УР.	ДОС.	
7 клас (ціна 7,50)			
ІІ - 1591			
8 клас (ціна 7,50)			
ІІІ - 6465			
9 клас (ціна 5,00)			
ІV - 148			
10 клас (ціна 5,00)			
ІV - 149			
11 клас (ціна 5,00)			
ІV - 150			

Цей зошит гарантовано
належить до серії