

НОВА БІБЛІОТЕЧКА Ч. 3.

Н. Р. КЕМПБЕЛ
ЕЛЕКТРИЧНІСТЬ

УКРАЇНСЬКА НАКЛАДНЯ

Київ-Ляйпціг

1918

НОВА БІБЛІОТЕЧКА Ч. 3.

Н. Р. КЕМПБЕЛ
ЕЛЕКТРИЧНІСТЬ

УКРАЇНСЬКА НАКЛАДНЯ

Київ-Ляйпціг

1918

ПЕРЕДМОВА АВТОРА.

Отся невеличка книжечка, це спроба пояснити при допомозі основних законів і теорій науки про електричність деякі із важніших принципів, на яких опирається взагалі науковий дослід. Вона призначена для читача, що цікавиться загальними питаннями знання; не вимагаючи від нього ніяких вступних відомостей про ті факти, які в ній розглядаються, вона вимагатиме від нього тільки напруженої уваги й пильного роздумування; вона не має завдання бути легкою лектурою на пів години, а старається заспокоїти вимоги тих, хто справді прагне знання.

У праці так невеликого об'єму і так широкого змісту можна буде тільки небагато уваги присвятити подробицям. Можна сподіватися, що ані в однім відділі не пропущено важніших річей; однак автор цілком не старався о таку точність у подробицях, якої вимагають підручники. З другого боку він зробив усе можливе, щоб не було ніяких неясностей у викладі або помішання понять.

РОЗДІЛ І.

Закони й теорія електростатичних явищ.

1. *Що то електричність?* Хто тільки більше або менше часу присвячував науці фізики, той правдоподібно знайомий із питанням, з яким звертаються до нього його приятелі, далекі від науки. »Що то таке електричність?« — питають вони й хочуть мати на це питання цілковито просту й ясну відповідь. Діставши відповідь, ці приятелі більш або менше ввічливо здержують бажання заявити, що їм із цілої відповіді ясно тільки те, що про цю науку сам запитаний знає дуже мало що більше від них самих. Одначе, в дійсности, научна невідомість проявляється в завданню подібного питання, а не в неможливості відповісти на нього. Чим більше чоловік знайомий із наукою, тим трудніше здається йому відповісти на це питання, бо тоді стає йому ясніше, що на питання, поставлене в такій формі, не можна дати відповіді. Тимчасом той, що питає, бажав би правдоподібно таких вказівок, які міг би зрозуміти, не запускаючися в глибокі розсліди питання. Отся маленька книжечка є саме спробою дати такій людині бажану відповідь. Звертаючись із таким оригінальним запитом, питаючий виявив, що він не звичайний собі неук, але має свої власні погляди на науку, які треба вважати рішучо неправдивими. Тому я побоювався, що, коли викладатиму так як у підручниках ідеї, які розглядаються ученими в пристосованню до електричних появ, то мій читач неправильно зро-

зуміє багато описів і лишиться тим кріпше при багатьох хибних поняттях. Задля того я хотів би зачати від короткого пояснення, що то таке взагалі наука, якого роду розслідами вона займається й якого роду дає відповіді. Тільки після такого вступу можна викладати яку небудь окрему царину науки із користю для кожного думаючого слухача.

2. *Основи науки.* Підручник електричності міг би мабуть зачпнатися от хотьби такою фразою: »Греки відкрили, що кусник янтаря (бурштину), потертий рукою, дістає спосібність притягати легкі тіла довкола себе.« Такий опис окремих прикмет янтаря, це прегарний приклад значнішого числа научних висказів, з якими матимемо до діла.

Цілком ясно, що такий висказ описує вповні означені помічення; на перший погляд ці представлені помічення можуть показатися незвичайно простими, що не потребують ніяких дальших розслідів про їх природу. Одначе розваживши трохи, побачимо, що справа не така проста, як це здається на перший погляд. Уявім собі, що ми зійшлися із скептиком, котрий заявляє, що йому цей висказ не видається цілком ясним й що йому бажалося-б знати, що під ним розуміється. При тім треба прийняти, що він не розуміє не тому, що говорить иншою мовою від вас. Перш усього він певне запитає, що ми розуміємо під »янтарем«. На це нам легко буде відповісти: »Янтар« — можемо сказати — »це жовта, крихка, тверда матерія, яку знаходимо коло моря і т. д.«. Одначе наш товариш опять запитус нас, що ми розуміємо під »жовтим«, »крихким« і »твердим«. Легко можемо пояснити йому, що розуміємо під »крихким«; під тим словом розуміємо таку прикмету тіла, що, коли ударим його молотком, то воно не приплескається, тільки розсиплеться на кусні. Далеко трудніше

прийдеться нам пояснити поняття «твердий»: під тим словом розуміємо таку прикмету янтара, на основі якої, взявши кусник його двома пальцями, не зможемо зблизити їх до себе так, щоби зіткнулися. Коли-ж наш товариш запитає, що розуміємо під словом «жовтий», то не потрафимо дати йому ніякої відповіді. І коли він не знає сам, що значить те слово, то ми не пояснимо йому нічого, навіть як переложимо це слово на всі мови світа. Коли-ж він заспокоїться тим, що «жовтий — то жовтий», то розмова може йти далше й він може з користю для себе завдавати далші питання. Він може, на приклад, запитати нас, що ми розуміємо під словами «молоток» і «розсипатися». Ми знов мусимо рішитися, чи можна пояснити ці поняття, чи може, як що до слова «жовтий», вони на стільки прості, що не дозволяють на далшу аналізу. Таким чином можемо собі уявити, що така розмова протягнеться аж до часу, поки наш товариш не дістане від нас усіх пояснень, які ми тільки зможемо йому дати. Так то він приневолить нас, розложити наш початковий висказ на значне число нових висказів, а ті знов, у свою чергу, на нові гадки, доки вкінці аналізу не доведе до таких гадок, що їх уже далше не можна пояснювати.

3. *Закони.* Хто хотів-би перевести в цілім об'ємі вище описану аналізу цього висказу, який ми навели з початку § 2, той скоро розчарується у своїм припущенню, що цей висказ цілком простий. Противно, він побачить, що поняття, висказані у тому твердженню, виїмково складні. Такий вивід, це перша ціль, задля якої ми дали наведений приклад. Другу ціль не можна так легко досягнути: її не можливо досягнути в цілій ширині, доки не поборється незвичайної трудности, а то не переведеться повної аналізу. Вона міститься в установленню деякого закінчення що до природи тих останніх твер-

джень і останніх понять, до яких доводить аналізу й котрі всі, подібно як вище розібране поняття »жовтий«, такі, що не можуть підлягти дальшому поясненню. Тепер признають, що коли перевести таку аналізу, то всі ці останні твердження, подібно як твердження »те тіло жовте«, опираються на наші чуттєві вражіння. Ті твердження будуть нам, так сказати, стверджувати, що щось є відоме нам безпосередно, завдяки знарядом чуття, що видиться цвіт, що чується звук або відчувається напруження м'язів. Принайменше ясно, що твердження такого роду являються самі собою кінцевими, й нема можливости, давати далші їх пояснення. Нема ніякої змоги, присилувати кого небудь зрозуміти, що ми розуміємо, коли говоримо, що чуємо високу ноту, або що зачинаємо рухати рукою, або що предмет, на який дивимося, видається нам жовтим.

Таким чином, наукове твердження, в роді того, яке було наведене на початку § 2 для прикладу, складається із складного сполучення простих тверджень, що відносяться до чуттєвих спостережень; воно може бути розложене на ряд таких тверджень, і о його правдивости або помилковости можна судити по правдивости або помилковости тих підставних тверджень. Такий вивід дуже добре відомий кожному, хто знайомий з напрямом сучасної гадки, о скільки розходиться о основи наукового знання. Наш приклад являється тим, що звичайно називається »науковим законом«, а »закон« часто пояснювався як опис ряду вражінь. Уживання слова »ряд« в тім значінню звертає нашу увагу на особливність закону, яка зараз має для нас другорядне значіння, але якої не належить цілком поминати.

4. *Природа законів.* Твердження § 2 про натертий янтар уявляє із себе злучення простих тверджень з погляду на наші вражіння, однак воно

являється не тільки таким злученням: прості, поєдинчі твердження розділені в ній в означенім порядку й звязані між собою. Так, твердження «янтар був натертий» представляє частину цього злучення, цієї цілости, а твердження «янтар притягає легкі тіла» — другу частину. Ціле наше твердження не тільки подає обі ті думки, але стверджує також і звязь поміж ними, а то, що почування, які описуються в першому твердженні, діються перед почуваннями, які описуються у другому частинному твердженні: янтар притягає легкі тіла після того, як його натерто. Такий рід звязи між поєдинчими твердженнями, при яким стверджується, що один ряд почувань діється після другого, звертає на себе більшу увагу осіб, що писали про філософію науки. Звичайно твердження, в яких та звязь ясно виступає, мають назву «законів».

Однак в научних твердженнях можуть міститися не тільки звязи того роду. Так, твердження, що янтар потертий, містить у собі твердження про існування такої річи, як янтар, а це твердження, як ми бачили, в свою чергу показує, що та річ жовта, тверда, крихка й подибується коло моря. Останнє твердження можна дальше розложити на частинні твердження про існування твердої річи, про існування крихкої річи і т. д., при чім кожне з них представлятиме собою ряд тверджень про чуттєві спостереження. Тут уже звязь між частинними твердженнями, означена повним твердженням, не виявляється у тім, що один ряд спостережень діється після другого; матерія називається янтарем, коли спершу завважимо її твердість, а після того крихкість, або так само, коли ті спостереження зробимо в відворотному порядку. Коли-ж підемо дальше й проаналізуємо твердження про хрупкість янтару, то побачимо, що воно стверджує ось що: після того, як янтар ударено молот-

ком, він розпався на кусники. Тут опять показується рід звязи між твердженнями, який висказує, що одна група вражінь наступає після другої. Завдання перевести повну аналізу й описати різні роди звязей між гадками, що містяться в нашому початковому висказі й стверджують присутність чуттєвих вражінь, відвело-б нас далеко від наших безпосередніх цілей. Все-ж таки належить завважити, що звязь, яка виявляється в незмінному упорядкованню, не буває ніколи єдино можливою, її навіть дуже рідко така звязь сама тільки фігурує в таких твердженнях, які вважаються всіми за закони. Через те видається мені спроба приписувати назву «закона» таким тільки твердженням, в яких особливо ясна ця звязь, штучною й помилковою. Тому на далі прикладатимемо цю назву однаково до всіх тверджень, які тільки стверджують загальну звязь якого небудь роду між чуттєвими вражіннями. Називатимемо «законами» не тільки такі вискази, як «потертий янтар притягає легкі тіла», але й також такі, як «існує матерія — янтар, рівночасно жовта, крихка і т. д.».

Полишім тепер ті загальні міркування про природу научних тверджень і розгляньмо докладніше окрему класу таких тверджень, що відносяться до научної царини, зазначеної у заголовку книжки. Звязь з тим, що ми попередю сказали, не виглядатиме спершу очевидною. Те, що ми вище виложили, було нам потрібне не так для того, щоби зрозуміти закони електричності, які нище опишемо, як більше для того, щоби допомогти собі протиставити ті закони всіляким родам тих научних висказів чи тверджень, з якими їх дуже часто міняється. В кількох дальших параграфах будемо мати до діла тільки з законами. Одначе з того, що ми вище сказали, ясно, що для рішення питання про те, чи дане твердження є законом, чи

ні, ми повинні перевести повну його аналізу. Недостача місця не дозволить мені показати в такий спосіб, що всі нище наведені твердження це справді закони. Читачі, не знайомі bliще з наукою, мусять що до того спуститися на присуд автора.

5. *Закони електростатики.* Факти, які тепер маємо на гадці, відомі кожному, хто мав у руках підручник електричності або чув популярний виклад. Не зважаючи на те, треба нам особливо старанно ствердити їх в інтересі дальшого викладу. Ті факти можна зібрати в отсі твердження, які творять основні закони науки про електричність.

Коли кілька кусників скла потерти відповідним числом кусників шовку, заховуючи при тім деякі спеціальні умови, то покажеться, що скло й шовк дістали такі свійства:

1) Кусник скла й кусник шовку притягаються взаїмно.

2) Два кусники шовку або два кусники скла відтручуються від себе.

3) Кусник скла або кусник шовку притягає всяке иньше тіло, якого не дотикається. При тім завсїди притягання або відтручення тим менше, чим дальше від себе віддалені тіла, що себе притягають або відтручують.

4) Третє тіло, що зіткнеться з кусником скла або кусником шовку, набуває до певної міри свійства, перечислені під точками 1), 2) і 3), які є власністю скла або шовку, з яким воно стикалося. Скло або шовк, з котрим зіткнулося те тіло, тратить до певної міри ті свійства, се-б то притягає або відпиhaє з меншою силою, ніж перед тим.

5) Ті свійства можуть перейти на третє тіло не тільки через безпосереднє зіткнення зі склом або шовком, але також тоді, коли сполучимо його з ними при допоміжі прута, зробленого із означених тіл. При тім усі тіла можуть бути поділені на

дві кляси. Одна кляса (А), в котрій головне місце займають метали, обіймає тіла, що передають свійства скла або шовку третьому тілу через зіткнення зі склом або шовком з одного боку й третім тілом — з другого. До другої кляси (В), яка обіймає більшість твердих неметалічних тіл, належать тіла, що не передають свійств потертих тіл при вказаних умовах.

6) Тіла, що належать до кляси А, можуть набувати свійства скла або шовку ще в иньшій спосіб, який цілком не вимагає зіткнення зі склом або шовком. Як ось скло приблизити до одного кінця тіла, що належить до кляси А, а до другого його кінця на хвилюку діткнутися пальцем, то, відсунувши скло, побачимо, що тіло дістало в значній мірі свійства натертого шовку. Теж саме буде, коли тут переміняємо слова »шовк« і »скло«.

Такі то факти, представлені в як найпростійшим виді; із помічань над ними виросла ціла наука про електричність. Для короткості введемо невеличке число технічних виразів, які, сподіємося, добре відомі читачеві. Скло або шовк, що проявляють, коли їх натерти, свійства, описані в точках 1), 2) і 3), називаються »нарядженими«. Тіла кляси А називаються »добрими провідниками« або »кондукторами«, тіла кляси В »злими провідниками« або »ізоляторами«. Метода відділу провідників, описана під точкою 6), називається »нарядженням через індукцію«.

Очевидно, наведених 6 точок не вичерпує всіх законів, що їх викрито при розслідах електричних явищ. Нам не тільки знає більше число иньших законів того роду, що й вище згадані, се-б то таких, що описують подібні свійства иньших тіл — крім скла й шовку —, коли їх потерти об себе, але також відкрито велике число законів цілком иньшого роду. Читач правдоподібно знає, що в науці

про електричність важну роль грає міряння, та що в ній існують закони з огляду на число, а не тільки з огляду на якість, як вище представлені. Ми знаємо не тільки те, що сила притягання між двома наелектризованими тілами зменшається із збільшенням віддалення між ними, але також що існує означене числове відношення між віддаленням і силою притягання. Тепер звернемо увагу саме на закони того роду. Закони, які ми вище представили, відрізняються від інших законів так своєю природою, як і своїм походженням, і тому, заки підемо далше, треба докладно вяснити їх різницю. Закони, наведені в тім параграфі, це єдині закони, які відкрито виключно при допоміж досвіду й спостережень, чого звичайно вимагається що до всіх законів. Інші-ж закони викрито щойно після того, як розсліди тих явищ поступили далеко вперед, про що у нас до тепер не було мови.

6. *Дальший розвиток.* Цей дальший розвиток розслідів можна розглядати з двох цілком різних точок погляду. З одної точки погляду він міститься в установленню звязків між законами, які вже відкрито. Ми бачили, що закон виявляє з себе опис почувань, яких зазнається при поміченнях. Процес установлення закона виявляється в тім, щоби знайти коротку й ясну гадку, яка висказувала-б разом усі простіші твердження з огляду на почування змислів. Коли вже закон установлено, тоді можна випровадити із нього всі ті прості твердження про чуттєві вражіння. Так, на приклад, із твердження «потерте скло й шовк притягаються» можна вивести твердження, що кожний даний кусник скла притягатиме кожний даний кусник шовку, як тільки його потерто. Дальше, як ми вище показали, можемо вивести, що скло — це матерія тверда, прозора і т. д. Таким чином, установляючи закони, ми мусимо знаходити взаємини між зви-

чайними твердженнями про чуттєві враження. Винайдені взаємнини такі, що відповідно до закону, який містить у собі ті взаємні відносини, можемо установити пороблені помічення.

Тепер можемо собі завдати питання: як же далеко заведе нас процес установлення законів? Чи можемо кінець кінців дістати один закон, котрий зібрав-би всі пороблені нами помічення і з котрого можна-би вивести всі ці помічення? Чи може ми вкінці прийдемо до роду законів, що описуватимуть усі помічення, й після того не можна вже буде йти далше в напрямі упрощення описів? Докладна відповідь на те питання зайняла-б нам за багато місця й вимагала-б більшої наукової підготовки. Через те я й не можу рішити його тут в цілості, тільки приймаю, що цілковите упрощення, яке доводило-б до описання всіх помічень одним реченням, безумовно неможливе, коли приймемо, що те речення, та гадка мусить бути законом. Що правда, ми можемо зменьшити трохи число законів: наприклад, можемо злучити закони, представлені під 5) і 6) в один закон, який твердив-би, що тільки ті тіла, які можуть передавати свійства нарядженого тіла, можуть бути наряджені при допомозі індукції. Одначе коли переведемо всі можливі комбінації такого роду, то все таки прийдемо до роду законів, між котрими не буде можливо поставити яку не-будь звязь.

Та, хоч злучення всіх законів в однім реченню, яке саме було-б законом, неможливе, вони все-ж таки можуть бути злучені в одно речення, яке буде не законом, а твердженням иньшого роду. Через те й можливий дальший розвиток у вказаному значінню й він грає велику ролю в научних розслідах. Одначе до тепер ще не маємо ні-яких відомостей про те, якого роду речення могло-б бути придатним для тієї мети. І загальне завдання

винайти таке речення, котре збирало-б до купи ряд других речень, видається цілком неозначеним, доки не знаємо нічого докладнішого про природу того речення, якого шукаємо. Вказівку на його природу дістанемо, коли подивимося на цей розвиток з другої точки погляду.

7. *Мета науки.* Для чого взагалі потрібна людям наука? Яка мета всіх тих спроб, упростити опис чуттєвих вражень? Для чого взагалі потрібні нам описи наших помічень і почувань? Можемо полишити на боці відповідь, що науки вчимося з утилітарних наклонів, бо вивчення науки дозволяє нам, контролювати наші почування й таким чином причиняється до нашої фізичної вигоди. Безперечно, багато людей виучує поодинокі відділи наук під такими впливами, однаке не та причина пособляла розвиткові чистої науки; а тут ми цікавимося тільки чистою й найбільше абстрактною наукою. Хто вчиться чистій науки, той переводить свої розсліди просто тому, що змагає до знання, що вислід його науки, оскільки він успішний, дає йому деяку безграничну інтелектуальну розкіш, подібну до тої, якої зазнає чоловік при читанню поважного літературного твору або при огляданню великих творів штуки: він шукає не фізичних, але духових приємностей.

Однаке така людина змагає до дальшого розвитку науки, не обмежуючись формулами законів. Закони не дають йому тої інтелектуальної розкоші, якої він шукає; він не може вважати їх кінцем своєї праці. Майже неможливо пояснити, чому він не вдовольняється законами, так само як неможливо вкінці винайти причини виріження в обсягу штуки (мистецтва). На щастє й нема причини, робити подібні спроби. Я приймаю, що мій читач звичайний чоловік, а такі люди більше всіх не відчують недостаточности законів, як кінцевої мети науки.

Я відзиваюся при тім до досвіду читача. Коли-б моя невелика праця кінчилася на тому місці й читач пізнав-би із неї тільки закони, наведені в § 5, як кінцеві висліди, до яких дійшлося на величезнім полі научних розслідувань, то він, на мою гадку, знайшов-би, що ті висліди занадто сухі й неправильні що до свого характеру. Природний інстинкт читача, хоч і попсований незрозумілими накликуваннями тих, що ліпше від нього повинні знати справу, спонукує його, запитувати: «чому?» «Ті закони дуже гарні», — може він сказати, — «одначе я мав надію, довідатися, чому на приклад наряджені тіла способні, притягати ненароджені, або чому тільки добрі провідники можуть наряджатися при допомозі індукції?» Такі то запити й приводять чоловіка науки до його великих відкриттів.

Одначе питання, поставлене тільки в виді «чому?», не дає нам ясних вказівок що до природи сподіваної відповіді. Тільки трохи розваживши, побачимо, що всі форми відповідей, які звичайно даємо на запити, що зачинаються від «чому?», рішучо не можуть бути пристосовані до питання, що відноситься до законів, відкритих дорогою помічування. Та деколи замість «чому?» можна почути иньше запитання, в якому ставиться домагання «пояснити» закони. В тім домаганню міститься більша неозначеність, бо «пояснення» можуть бути всілякі й вони в більшості не можуть бути пристосовані в випадку, що нас займає. Одначе, загально кажучи, кожне пояснення має свою означену прикмету: воно заступає гадки, які мають бути пояснені, гадками або словами більш звичайними. В такому розумінню пояснення — це заступлення незвичайних гадок звичайними; така заміна й бажана й виходить із дальшого розвитку науки, який нас займає.

Таким чином найблищий крок, який нам належить зробити, мусить бути зроблений до того, щоб

заступити розглянені нами закони яким небудь иньшим реченням або реченнями, які не повинні бути законами. Ті нові речення — гадки мусять заспокоювати такі два вимоги: по перше, вони мусять бути такі, щоб із них можна вивести закони й щоб вони збирали до купи закони, так як закони збирають разом поодинокі помічання; по друге, вони мусять бути такі, щоби давали ту інтелектуальну розкіш, котрої не дають закони, це-б то щоби містили в собі гадки більше звичайні від тих, що містяться в законах.

Але й при таких постановленню нашої проблеми, не буде, очевидно, можливо, розв'язати її відразу, бо нема задля того так скорої методи, як методи при розв'язці арифметичних завдань. Одначе нам не треба тратити часу й місця на те, щоби розглянути різні можливості й ми розберемо прямо одно пояснення, яке було представлено. Можливі й другі пояснення, що відповідали-б так само добре обом вище поставленим вимогам, одначе не наше діло, розбирати їх. Ми не можемо спускати з очей питання, з якого виходимо — »що то таке електричність?« — й пояснення, яке нище наводимо, треба вважати єдиним, що говорить нам що небудь про електричність.

8. *Теорія „течей“*. Те пояснення опирається на аналогії. Спинімся на фактах, описаних в § 4, а саме на тім, що ненаряджене тіло набуває деяких прикмет нарядженого, коли тільки з ним зіткнеться. Маємо багато наглядних прикладів такого явища в пньших областях помічування. Коли ми на приклад діткнемося рукою намоченої губки, то рука здобуде одну з прикмет губки, вона стане мокра. Приглянувшись тому блище, побачимо, що перехід прикмети (свійства) губки на нашу руку залежить од переходу »матерії« води. Аналогічно до того можна прийняти. — я подаю тепер цей

здогад у тій формі, в якій його звичайно подається, — що передача свійств нарядженого тіла ненарядженому при їх зіткненню відбувається наслідком переходу деякої матерії з нарядженого тіла на ненаряджене. Свійства, про які ми думаємо, коли говоримо, що тіло наряджене, залежать відповідно до того здогаду від присутности в тілі тої матерії, котру називаємо «електричністю». Коли приймати той здогад, то розслідування свійств, що відрізняють наряджене тіло від ненарядженого, дає нам вказівки на «свійства електричності». Через те що існують два роди наряджених тіл, — наряджене скло й наряджений шовк —, то мусимо приймати, що існують два роди тої матерії, яку розслідуємо, «скляна електричність» і «шовкова електричність». Закони, представлені під 1), 2) і 3) параграфу 4, показують, що дві скляні електричності або дві шовкові електричності відпихаються, а деяка скількість скляної електричності й деяка скількість шовкової електричності взаємно притягаються. Щоби пояснити в нашій аналогії цей факт, що наряджене тіло притягає ненаряджене, мусимо висказати деяке припущення що до електричного складу ненарядженого тіла. Найбільше природним було-би припущення, що кожне ненаряджене тіло не має цілком електричності; одначе при таких припущеннях наша аналогія не дала-би нам ніякого представлення про факт, що при потиранні двох тіл, що не мають електричності, вона показується в обох. Можна-би ще приймати, що ненаряджене тіло має обі електричності, — скляну й шовкову —, в такій пропорції, що кожна з них неутралізує свійства другої. В таким разі чинність потирання міститиметься в розділі обох родів електричності, при чім один рід збирається на склі, а другий на шовку. Подібне явище можна завважити, коли губка насичена двома різними

течами. При тім два ненаряджені тіла не будуть притягатися, тому що притягання скляної електричності одного тіла й шовкової електричності другого тіла неутралізуватимуться відпиханням їх шовкових електричностей. Коли-ж тіло, наряджене скляною електричністю, приблизити до незарядженого тіла, то воно притягатиме шовкову електричність останнього й відпихатиме його скляну електричність. Коли ми до всего того, що ми сказали, приїнемо ще, що електричність може легко перебігати в середині тіла, то побачимо, що в данім випадку шовкова електричність збереться в частинах, ближчих до нарядженого тіла, а скляна електричність у частинах, дальших од нарядженого тіла. Перше буде сильніше притягатися, ніж друге відпихатися й тому наслідком того ненаряджене тіло буде притягатися до нарядженого.

Таким способом ми «пояснили» закони, наведені під 1), 2), 3) і 4) параграфу 4: лишається нам іще розглянути точки 5) і 6). Наша аналогія наводить нас на їх «пояснення». Коли кінець твердого прута зіткнемо з губкою, то не змочимо собі руки, дотикаючися нею другого кінця прута. Коли-ж замість прута возьмемо рурку, тоді, дотикаючись, рука стане мокра. Через те й приймаємо, що добрі провідники відповідають руркам, то-б то уявляють з себе тіла, по котрим може електричність свобідно пробігати; противно, злі провідники, це такі тіла, в котрих електричність не може свобідно посуватися¹⁾.

¹⁾ Уважний читач завважас, що тут повстас чимала трудність, бо для пояснення притягання ненаряджених тіл — добрих і злих провідників — нарядженим тілом, треба приймати, що електричність може свобідно переходити по кожному тілі, тимчасом ми приймаємо то тільки що до добрих провідників. Ту трудність можна пояснити лише при помочи міркувань, які появилися в науці щойно в останніх часах і виходять поза рамки цієї праці.

Коли це приймемо, то це зараз пояснить нам і 6-у точку 4-ого параграфу. Як ми бачили, присутність нарядженого скла при однім кінці ненарядженого тіла спонукує шовкову електричність, збиратися на цім кінці ненарядженого тіла, а скляну на противнім. Коли-ж тіло уявляє з себе добрий провідник і ми діткнемося його кінця, віддаленого від нарядженого тіла, то скляна електричність, стараючися, відійти від нарядженого тіла, перейде в нашу руку, і в тілі лишиться тільки шовкова електричність. Коли-ж ненаряджене тіло є лихим провідником, то скляна електричність не може вибігти з нього; тому, коли відсунеться наряджене тіло, те тіло матиме попередні скількості скляної й шовкової електричності, це-б то лишиться ненарядженим.

9. *Теорії.* Таким чином прийшли ми до пояснення електричних явищ у спосіб, який ми вище навели. Гадаю, що читач згодиться на те, що таке пояснення відповідає його сподіванням і мусить кинути нове й ярке світло на явища, які ми розбираємо. Справді, це пояснення цілком наглядне й видається на стільки самозрозумілим, що мені треба було при формулюванні законів у § 4 пильно вважати на це, щоби в них не було ніяких вказівок на це пояснення. Та для читача мусить бути ясно, що це пояснення це вже дальший розвиток, а самі закони явищ можна вповні поставити без ніякої звязи з тим поясненням. Поміч, яку нам подає отсе пояснення, міститься, безсумнівно, в тім факті, що воно спроваджує цілком нам невідомі чинности нарядженого скла й шовку на вповні прості та звичайні для нас чинности переходу матерії з одного тіла на друге.

Пояснення, виложене в § 8, я пропоную, назвати «теорією». Це слово вживається звичайно дуже недбало як у науці, так і в звичайній мові: як то

звичайно буває, недбалість у термінології залежить од неясности думки. При ясному розумінню справжньої природи тих пояснень законів, які дає наука, дуже часто траплялося, що переплутувано ті пояснення й пояснювані ними закони, не зважаючи на основну різницю поміж ними. Моє уживання слова »теорія« не цілком покривається з прийтим у багатьох научних працях, одначе мені здається, що більшість учених не приписує тому слову вповні означеного значіння, а користується ним для означення дуже різних родів научних висказів.

Розгляньмо тепер докладніше справжню природу теорії й її відношення до законів, які нею пояснюються. Ми вже зазначили, що коли теорія вдовольняє, то із неї можна виводити закони. Розберім тепер, як можна вивести такі-ж закони із теорії. На звичайній мові вище поставлена теорія може бути висказана такими словами: »Окремі свійства наряджених тіл залежать від того, чи є в них надвишка одної із двох течій, що називаються електричністю. Ті течії такі, що кожна притягає другу й відпирає подібну до себе. Ті течії можуть своїдно порушуватися в тілах кляси А, а не можуть того робити в тілах кляси В.« Обі частини того опису мають дуже різні значіння. Друга частина стверджує »свійства електричності«; вона старанно поясняє нам природу нових ідей, що вводяться тою теорією. Перша-ж частина не каже нам нічогосько про електричність. Вона вказує тільки на суть звязи між електричністю й розсліджуваними нами явищами; вона є думкою, що побуджує нас, взяти нову ідею про електричність з тими ідеями, що містяться в законах, пояснюваних теорією.

Так само кожна теорія складається із двох частей; одна її частина описує нові ідеї, які впро-

ваджує теорія, друга допомагає нам, перевести думки теорії на язык ідей законів. Друга частина є, так сказати, свого роду словником. В нашій випадку вона складається із основної гадки, що коли ми говоримо: »тіло містить надвишку одної із двох електричних течей«, то розуміємо під тими словами те саме, що й тоді, коли говоримо: »тіло виявляє окремі свійства нарядженого скла або шовку«. Та основна гадка, те твердження своєю природою цілком таке, що може бути у французько-українським словнику, де пояснюється, що, коли говоримо »cela est jaune«, то розуміємо під тим теж саме, що й тоді, коли говоримо: »це жовте«. І тільки при допомозі такого словника можна із теорій виводити закони. Так твердження нашої теорії, що протилежні течі притягаються й можуть безпосередно переміщуватися в металах, приводить нас очевидно безпосередно до виводу, що, коли злучимо металом два тіла, які мають у собі надвишки протилежних течей, то ті надвишки усуваються й неутралізують свою чинність. Однак цей вивід не містить у собі нічого крім змісту окремого закону. Наш словник дає переклад: »маючи надвишки протилежних течей« — значить »наряджені як скло й шовк«. Зробивши переклад, ми приходимо до частини закону, що міститься в пятій точці четвертого параграфу.

І так з одної точки погляду, теорія, що обіймає наведення кількох нових ідей і словарь, що дозволяє твердження, висказані тими ідеями, перевести на твердження, що основуються на помічаннях, являється, як то ми вже показали з самого початку, звичайним еквівалентом законів, які вона поясняє. Та крім того така теорія ставить ці закони в иньшій формі, що, з деяких причин, вважаємо більш вигідним і корисним. О скільки теорія постановляє що небудь про помічання, по-

становляє вона тільки дані тих помічень, що вже містяться в законах, які вона пояснює. Ніякі інші помічення не розбираються при ставленню теорії. Однак належить особливо уважно підкреснути, що тільки при допомозі словника можна вивести із теорії твердження, що відносяться до помічень. Такі-ж твердження, виведені із теорії, що не можуть бути переведені при допомозі словника, не можуть дати нічого що до помічень. Так наша теорія каже, що «електричність — це теч». Звертаючися до нашого словника, ми не знаходимо там даних для перекладу того твердження. Ми можемо перекласти твердження «тіло містить електричну теч», але твердження, що «електричність — це теч» перекласти не можемо. Виходить, що твердження не має в собі нічого такого, що могло-б опиратися на помічення. Його гадки не основуються на ніяких досвідах. І коли ми бачимо в такому твердженню які небудь ідеї, то мусимо прийняти, що про електричність можна видати цілком вдовольний осуд, який не може бути опертий на досвіді. Значить, поняття «електричність» не дасться в цілості описати при допомозі досвідів. Легковаження тим цілком ясним виводом викликавало безконечні труднощі.

10. *Значіння теорій.* Тепер належить дивитися на теорії з певної означеної точки погляду, що робить їх рівночасно й цінними й небезпечними. Не треба було-б так довго пояснювати, які теорії не мають права на існування, як-би не було небезпеки у звязку з тим фактом, що теорія здається давати більше, ніж вона дає в дійсности; теорія нагадує багато дечого такого, чого вона в дійсности не може твердити. Коли говоримо: «електричність — це теч, що має означені свої-ства», то й ми самі, й наші слухачі могли-б легко прийняти, що електричність має не тільки ті озна-

чені свійства, на які ми вже вказали, але також і всі ті свійства, що їх мають иньші види течей. Ми назвали «електричність» течію, бо ми приймали, що вона може легко пересуватися в одних тілах, а не може того робити в других. Одначе приймивши то, ми не можемо приймати, що електричність, подібно як і другі течі, має означений тягар, парус, коли її ogrівати, застигає, коли її остуджувати і т. д.

Безпосередно все-ж таки неясно, що значать поправді ці пригадки. Відповідно до того, що ми до тепер сказали, буде неясно, яке значіння може мати твердження: «електричність має тягар», поки воно не буде пояснене при допомозі словника, то-б то не зведеться до форми закону. Фактично, що правда, все те, на що є вказівки в теорії, є законом; а в теорії вказується на те, що чим більше в тілі електричності, тим більше воно повинно важити. Одначе треба тямити, що такі нові твердження про електричність мусять виражати закони й у словник мусять бути впроваджені нові терміни. В деяких випадках конечність таких нових термінів неясна, за те в иньших випадках вона цілком ясна. Так твердження, що «електричність має означений обєм», не можна безпосередно пояснювати таким способом, що обєм тіла тим більший, чим більше в ній електричності. Вертаючися до нашої аналогії, не можемо твердити, що обєм мокрої губки безумовно більший від обєму сухої. Таким чином мусимо пильно оберегатися від того, щоби приписувати подібним твердженням означене значіння, заки не переконаємося, що в словнику знайдуться терміни, при допомозі котрих вони можуть бути переведені у форму законів.

Хоч закони, зібрані в теорії, всі вірні, то все-ж таки з того не виходить, що закони, на які є натяки в теорії, теж вірні. Чи вони правдиві, чи ні,

це питання можна рішити тільки досвідом і поміченням. Мусимо переконатися, що помічення, які описуються тими новими законами, можуть бути виконані. І часто показується, що натяки теорії помилкові; на приклад, усі ті натяки хибні, які вище були виведені із »теорії течей« що до електричності. Нема законів, котрі постановляли-би, що електричність має тягар або обем, що вона твердне при остудженню й парує при огріванню. Так теорія, в якій є вказівки на неправдиві закони, вдоволяє нас, очевидно, менше, ніж теорія, що дає вказівки на правдиві закони. З цього погляду різниця між існуючими теоріями може бути поставлена тільки в степені: майже всі поважні теорії дають вказівки так на правдиві, як і на неправдиві закони. Через те буде бажано показати, коли це можливо, як доходимо до теорій, що мають у собі справді правдиві закони.

Безсумніву ніхто не приймав і, як гадаю, нікому не прийде на гадку, приймати, що існує формальне право, при допомозі котрого можна творити правдиві теорії, це-б то теорії, що давали-б вказівки на правдиві закони. Як читач певно знає, були зроблені спроби, формулювати правила для вишукування законів, одначе, на мою гадку, всі ті спроби цілковито не відповідні. Що до теорій не робилося навіть подібних проб. Одначе трохи світла можна кинути на це питання, коли вернемося ще раз до питання про повстання теорій взагалі. Як уже було сказано, складаємо теорії задля того, що закони видаються нам недостаточними, не заспокоюючи естетичних потреб нашого інтелекту. Сам собою помітний факт утворення деяких правдивих теорій; так то, виходячи тільки із бажання, знайти нову формулу для вираження деяких законів, можна було дійсно дістати таку форму, яка виражає не тільки ті закони, але рівночасно й інші закони,

яких первісно не розбиралося. Той факт показує, на мою гадку, що інстинкт чоловіка, що побуджує його творити взагалі теорії, доводить його і до правдивих теорій. Коли досвід показує, що ті теорії можуть заспокоїти інтелектуальні потреби, що заставляють чоловіка, йти даліше законів тільки дорогою введення понять, які доводять до помилок, то теорії перестають вдовольняти чоловіка й студійовання науки переривається. Чиста наука можлива тільки тоді, коли помічання годяться з вимогами розуму й це представляє безперечно незбиту праву.

11. *Штука знання.* Я говорив вище про інтелектуальні потреби «людини». Одначе з погляду тих потреб бувають люди всілякі: одні волять учитися письменства, другі — математики, треті — фізики. Що-ж це були за люди, яких інтелектуальні потреби, здавалося-б, руководили ходом явищ природи? На це відповідь ясна: то були, дійсно, великі люди науки. Багато філософів, котрі, особливо на протязі останнього століття, займалися аналізою й описом «методи науки», як майже механічної методи: давати висліди помічань, ніколи не завдавали собі питання, чому всіх тих значніщих успіхів у науці не досягнули ті, що набули (або говорили, що набули) найліпшу «методу», тільки люди в роді Ньютона або Фарадея, котрі дуже мало що тямали в філософії. У своїх спробах подати висліди науки не-вченому чоловікові, такі вчені стараються, затаїти той факт, що подібні висліди здобуто на крилах уяви, до якої не-вчені люди цілком неспосібні. Через те не може бути справжньої філософії науки, яка не признавала-би, що для досягнення цінної теорії потреба інтелектуального елемента, і то цілком виразного, який не можна нікому передати ані описати, на взір того, який визначає праці визначних мистців. Наука в своїй

найвищій формі не противиться мистецтву, а виявляє з себе рід мистецтва.

Ця окрема інтелектуальна сила доконче потрібна для розуміння теорії так же само, як і для того, щоб її виставити. Теорія може вказувати на правдиві й неправдиві гадки, одначе хто має дійсно научний інстинкт, той бере й переймає із неї тільки правдиві гадки, а не неправдиві. Неправдиві виводи, про які згадувалося вище, не пошкодили поступові науки, бо-ж усі вони (крім одного, що електричність має тягар, що, може бути, й не цілком хибно) виглядають смішні для кожного чоловіка, що має научне чуття. Такий чоловік ніколи не братиме цих гадок поважно. Одначе вони дуже небезпечні для тих, що не мають такого чуття, й давали привід до багатьох безглузвих спорів. Коли не-вчений, хай буде до того цей філософ, почує, як чоловік науки каже, що «електричність — матерія», то він рішає зараз же, що електричність має свійства інших зразків матерії. Тут змішання вчаси у словах; доволі тяжко установити, що речення «електричність — це матерія», не того самого роду, що й речення «янтар — це матерія». Ми дійсно бачили, що останнє речення, це простий опис помічань, а перше обіймає ідеї, які не цілком дадуться означити помічаннями. Читачі, що стоять далеко від науки, часто нарікають на технічні терміни, які стало вживаються в науці. Одначе було-би менше помилок, коли-б у науці вживалося більше таких термінів. Їх уживання доводить до помилок не частіше, ніж уживання звичайних слів із новим значінням. Все-ж таки змішання буває більше глибоке: воно виходить із більшої вразливості на хибні ідеї теорії, ніж на правдиві. Научні теорії призначені для людей науки й мають окремий образ гадок так, що тільки люди науки можуть їх відповідно зрозуміти. Хто

не має научного чуття, повинен по змозі вистерігатися теорій. Наука, це не »зорганізований здоровий змисл«, вона найбільше тайна із усіх мистецтв.

Ізза того ми на самім початку наших виводів звернули увагу на форму питання »що таке електричність?« Вона вимагає неминучої відповіді, що зачинається від слів: »електричність — це матерія«. Далше побачимо, що існують теорії електричних явищ, які цілком не допускають подібної відповіді. Навіть коли-б прийняти теорію, що допускає таку відповідь, то ту відповідь зрозуміють хибно, коли не додати до неї широких пояснень.

На тім кінчимо наш довгий вступ і приступаємо до обговорення кількох подрібних вислідів студій над електричними явищами, в надії, що не зробимо більших помилок. У дальшому розділі опять розбиратимемо закони, але це будуть закони, що не представляють висліді чистих помічань, а впливають із прийнятої теорії й показалися правдивими. Найважливіші закони відносяться до поміру електричних величин.

РОЗДІЛ II.

Електричні поміри.

12. *Що таке помір?* Поняття про помір відоме на стільки добре кожному, що рідко хто вважає потрібним, аналізувати його. Кожний розуміє, що є якості, які дадуться змірити, й якості, яких не можна змірити: одначе ледви хто зможе просто знайти основну ріжницю між якостями, що дадуться змірити, й якостями, яких не можна змірити. Так на приклад можемо мати перед собою більше число ваз (посуд), що різняться між собою формою, тягарем, краскою, тревалістю й рисунком. Із тих якостей дві перші ми зараз при-

знаємо за такі, що дадуться змірити. Кожний зрозуміє висказ, що одна ваза в трое або в п'ятеро ширша або тяжча від другої. Ідея поміру закраски ваз, то-б то вираження різниці між краскою двох ваз різницею чисел, може прийти на гадку тільки тому, хто знайомий з новішим розвитком оптики. Помір тревалости може бути зроблений тільки дуже недокладно, хоч-би навіть чоловіком науки, а рисунку загалом змірити неможливо. Ніхто ніколи не поспробує сказати, що одна ваза вдвоє краще розмальована, ніж друга.

Уживання чисел для розрізнення предметів відповідно до їх знаної якості може мати подвійне значіння. По перше, воно може бути корисним, як метода подрібного опису. Ряди чисел можна розглядати так же, як ряд слів, що мають ту добру прикмету, що їх можна поставити, скільки захочемо. Коли завважимо нову вазу, можемо порівнювати її величину з величиною одної із решти ваз, можемо сказати, що вона має приблизно ту величину, що й ваза з відломаним ухом і ваза з голубими пламами. Коли-ж маємо перед собою дуже велике число ваз, то чим раз трудніше прийдеться нам знайти достаточне число описів того роду, що відрізнявали-б одні вази від других. В таких разі буде нам корисно, зазначити кожную вазу числом, назначивши на приклад вазу із зломаним ухом ч. 1, вазу із голубими цятками ч. 2 і т. д. Кілько-б ми й не мали ваз, описи їх завсїди будуть так короткі.

Таке вживання чисел прийнято загально в звичайному житті при описі домів, які назначуємо числами при назві вулиці. Так само можна вжити чисел для розрізнення тїл з огляду на яку небудь його прикмету, як величину, так і мистецьку красу. При тїм числа, хоч і являються прегарним способом відрізнявання предметів, все-ж таки не представляють єдиного такого способу. Знаючи наперед,

що число предметів обмежене, можемо замість чисел покористуватися буквами азбуки. Одначе таке вживання чисел, хоч представляє логічну основу міряння, не представляє самого міряння. Коли ми користуємося числами для міряння, а не для опису якостей, то приймаємо, що існує якесь взаємне відношення між якостями, які ми назвали »2« і »3«, і якістю »5«, та що воно не буде правдивим, коли ми замість якості »3« поставимо якість »4«. Таке взаємовідношення висказуємо словами, що якість »5« є сумото якостей »2« і »3«. Це взаємне відношення ми й мусимо розібрати по змозі найдокладніше.

13. Льоїка поміру. Коли ми говоримо, що величина одної вази в п'ятеро більша від величини другої, то це значить, що ми можемо п'ять разів наповнити другу вазу водою, що тільки раз наповнила першу вазу. Коли кажемо, що тягар одної вази в п'ятеро більший від тягару другої, то розуміємо під тим, що, помістивши першу вазу на одну шальку ваги, мусимо для установаження рівноваги поставити на другу шальку п'ять ваз таких як друга. В кожному випадку число »п'ять« указує, кільки даних операцій треба зробити з другою вазою, щоби дістати той же вислід, що й із першою вазою тільки один раз. Природа цих операцій в різних випадках різна й важно завважити, що вона не довільна, але мусить бути в кожному випадку докладно означена. Доки ми не знаємо докладно, про яку операцію говориться, доти гадка »одно тіло перевищає в тім згляді друге в п'ятеро« не дає ніякої означеної вказівки. Через те перед нами з'являється питання: чому ми вибираємо для поміру означеної величини одну якусь операцію радше, ніж яку иньшу й як означити, котра операція придатна в означенім випадку?

Щоби відповісти на це питання, належить за-

мітити, що поміри мусять гордитися між собою. Помірів не можна переводити так, щоби вони приводили до двох різних оцінок числа, що представляє якість того самого предмету. Придивімся отсему прикладові. Приймім, що маємо чотири вази — A , B , C і D , та що величина вази A нам відома й зазначена числом 1. Наповняємо водою A і старанно випорожнюємо її зміст у B , C і D по черзі тільки разів, поки B , C і D не будуть наповнені водою. Приймім, що таким чином покажеться, що треба два рази наповнити й опорожнити A , щоби наповнити B , чотири — щоби наповнити C , і шість — щоби наповнити D . Таким чином ми довідалися, що величина B , C і D рівняється аналогічно 2, 4, 6. Та із того, що ми сказали про помір величини, виходить, що коли наповнимо B і C і випорожнимо їх, виливаючи воду в D , то D буде як раз наповнене, бо $2 + 4 = 6$. Коли перевести спробу, то покажеться, що дійсно D при тих умовах заповниться водою. Одначе такий результат не можна було з гори назвати. Він не є логічним наслідком означення виміру вище даної величини; його можна передбачити тільки, опираючись на помічаннях; він уявляє із себе закон. Коли-ж ми для того-ж випадку скористаємося иньшою операцією, то не дістанемо того самого результату. Ми можемо сказати, що в реченні »величина одного знаряду в п'ятеро більша від другого« міститься ось така гадка: »Коли наповнити другий і вилити його зміст у перший, то повторивши цю операцію п'ять разів замість точного переливання, ми останній наповнимо«. Одначе тут ми уже не знаходимо взаїмовідношення між величинами B і C і величиною D , як вище. Показується, що наші два поміри не годяться з собою. І загалом ніщо, щоб не залежало від досвіду, не може приєднувати нас рішити, котра операція — старанне

переливання чи наглед виливання — дає згідні результати. Та-ж обставина, що одна операція видається нам розумна, а друга ні, це просто вислід довгого безперервного досвіду.

Вивід, який я звідси повинен вивести, виглядає так: Щоби помір загалом був можливий, треба знати подрібно декотрі закони. Ми мусимо знайти означену операцію, придатну до помірів у тім розумінню, що, користуючися нею, завсіді приходитимемо до аналогічних вислідів. Одначе рішити питання, чи для тої цілі придасться дана операція, можна тільки досвідом. Причина, чому ми можемо міряти одні якості й не можемо міряти других, лежить у тому, що для одних винайдено придатну операцію, а для других ні. Таку операцію винайдено для величини й вас; так само винайдено більш складну операцію для поміру краски. Одначе поки що не знайдено ще вдоволяючої операції для мірвання твердості й не знайдено взагалі жадної операції, що годилася-б для мірвання артистичних прикмет.

Тепер мусимо ще рішити, звідки то ми знаємо, що величина означеної посудини є 1. Того ми не знаємо й приймаємо це умовно. Коли винайдено придатну операцію для мірвання величини, тоді можна величину даної посудини назвати 1, й наші поміри будуть годитися. Очевидно, що число, яке приписуватиметься означеній посудині, залежить від вибору посудини, названої 1.

Вияснюючи формально це питання, мусимо сказати, що загалом для помірів якої небудь якості мусимо поставити три твердження: По перше (1) твердимо, що якість, яку маємо міряти, однакова для двох рівнозначних в данім відношенню предметів. Так величина обох посудин однакова, коли скількість води, що наповняє першу посуду, наповняє й другу. По друге (2) твердимо, що та

величина рівняється 1 для означеного умовного предмету. Так скажемо, що величина ваз з глибокими цятками рівняється 1. По третє (3) твердимо, що під фразою: »величина для даного тіла є сумою тих же величин для двох других тіл« розуміємо, що виповнення умовленої операції над останніми двома тілами дає той сам вислід, що й її виконання над першим тілом. Тав кажемо, що величина одної вазі рівняється сумі величин обох других, розуміючи під тим, що, коли вилиємо в яку небудь посуду зміст двох останніх ваз, то наповнимо її до тої самої рівені, що й тоді, коли вилиємо в неї зміст першої вазі.

Усі ті три твердження уявляють із себе пояснення: (1), це чисте пояснення словами, в роді тих, які стрічаємо в словнику; (2), це чисто умовне пояснення в роді того, яке робимо, називаючи собаку »Жучка«; (3), це істотне пояснення й його треба старанно стверджувати; оскільки воно твердить, що взагалі можливе міряння, що приводить до згідних вислідів, воно містить у собі важний, нераз дуже складний закон.

І так ми означили, що треба розуміти під мірянням; тепер можемо вже приступити до розбору питання про помір електричних величин.

14. *Скількість електричності.* Завдання, що стоїть перед нами, можна формулювати так: Ми маємо кілька кусників нарядженого скла, се-б то скла, що при вище описаних обставинах дістало спосібність, притягати легкі тіла. Ті кусники притягають дане тіло не в однаковий спосіб; потрібно описати цю різницю в свійствах кусників скла при допоміж ріжниць в числах так, щоби число, придане даному кусникові скла, було завсідн однаковим, без огляду на це, якою-б то не було дорогою, згідною із нашою методою, було зроблене це придання.

Передусім мусимо завважити, що ми не починаємо вивчувати науку з самого початку. Ми приймаємо, що вже перед тим були здобуті деякі научні твердження й означені деякі скількості, які можна міряти. До тих скількостей належать довжина й сила, одначе ми не можемо тут спинятися над питанням, як ті скількості міряться. Ми можемо описати різниці в притягуванні легкого тіла різними кусниками скла, користуючися тими вже відомими скількостями, що дадуться зміряти. От ми знаходимо, що той самий кусник скла різно притягає одно й той саме легке тіло, в залежності від величини віддалення між склом і тим тілом. Таким чином частину тих різниць, яку розсліджуємо, можна описати, розглядаючи взаємне відношення, що заходить між числом, яке представляє силу впливу даного нарядженого тіла на дане легке тіло, й віддаленням нарядженого тіла від предмету, що має бути притягнений, й зазначаючи опісля віддалення різних наряджених тіл від тіла, що має бути притягнене. Одначе зробивши це, ми все-ж таки знайдемо помітні різниці; коли відтягнемо різниці в віддаленнях на підставі вказаного взаємного відношення або коли знищимо ті різниці, умістивши всі наряджені тіла в рівному віддаленню від предмету, що має бути притягнений, то все таки виявиться, що різні наряджені тіла різно його притягатимуть. А що скількості, що мають бути зміряні й відомі нам раніше, взято вже під увагу, то щоби зміряти ті різниці в притяганні¹⁾, мусимо придумати нову скількість.

І тут приходить нам на поміч теорія електричності. Тої помочі не потрібно нам, коли установаємо два із тих означень, які нам конечні для

¹⁾ Для короткості вживатиму тільки одного терміну «притягання», розуміючи під тим і «відтручування», коли оба ті явища не протиставляться.

означення скількості, що має бути зміряна. Ці два означення можна формулювати так: (1) »два тіла однакові у відношенню до величини, яку хочемо змірити, коли вони, поміщені в рівній віддаленню від тіла, що має бути притягнене, притягають його з однаковою силою«; ¹⁾ (2) »ця величина рівняється 1-ці для тіла, котре, уміщене в віддаленню, рівному 1, від тіла, для котрого ця величина має теж саме значіння, притягає останнє із силою, рівною 1.« Та яка операція лежить в основі означення (3)? Це відповідь, яку подано вище, безсумнівно була зложена на підставі теорії.

Ми перевели аналогію між електричністю й течами. Змірна величина, що представляє різницю між двома вазами що до того, кілька води в них уміститься, називається »скількістю води«. Чинність, придатна до зміряння скількості води, виявляється, як ми бачили, в переливанні змісту одної посудини в другу. Що до електричних явищ маємо також процес, який спершу здається цілком відповідати опорожненню посудини при допомозі переливання його змісту в другу посуду. В дійсності можливі обставини, коли, як наряджене тіло А зіткнути з другим нарядженим тілом В і потім його знов відсунути, то А покажеться ненарядженим, а притягаюча сила В зміниться, це-б то В буде притягати тіла, що знаходяться в означеному від нього

¹⁾ Можна завважити, що в тім випадку (1) не є звичайним означенням словами. Коли ми дістаємо згідні висліди, то, очевидно, два тіла, що однаково притягають тіло А, повинні так само однаково притягати друге тіло В. Коли-б це не було так, то ми прийшли-би до різних висновків що до величини, при допомозі якої ми брали до розслідув А і В. Одначе пізнати, що можна користуватися однаково А і В, можемо тільки на підставі досвіду. Виходить, що в тім випадку 1) є законом; було-б логічніше, але за те значно трудніше для викладу, змінити означення в такий спосіб, щоби цей закон містився не в означенню 1), а в означенню (3).

віддаленню, з иньшою силою, ніж перше. Анальо-
гія каже нам прийняти, що ця операція (чинність)
придатна для помірів і відповідно до того називаємо
величину, яка при тім означається, «скількистю
електричності», що міститься в тілі. Через те мо-
жемо спробувати, означити (3) в такім виді: »Скіль-
кість електричності в А, лучиться із скількистю
електричності в В, коли А зіткнеться з В при
означених умовах.» (Було-би безкорисно, описувати
тут подрібно, які то ті умови.)

Тепер мусимо переконатися в тім, що це озна-
чення приводить до однакових вислідів. Для того
мусимо зробити такі досвіди: Возьмім три тіла А,
В, С, самі ненаряджені, й більше число тіл, з котрих
кожне, згідно з 2), має скількисть електричності,
рівну 1. Ми стикаємо n тих тіл із А, m із них із В
при означених умовах. Опісля послідовно стика-
ємо А і В із С. Відповідно до нашого означення
С дістає скількисть електричності, рівну $n + m$.
Ми означаємо силу, з якою С притягає яке друге
тіло D й потім знову наряджаємо С. Після того
стикаємо з С $n + m$ наших поодиноких тіл і
відмічаємо знов силу, з якою С притягає D, будучи
в такім самім віддаленню від D. Коли сила при-
тягання, скільки-б ми не робили досвідів, лишається
незмінною при ріжних тілах А, В, С і ріжних чис-
лах n і m , то наше означення дає згідні висліди
й наша мета досягнена.

Ряди таких досвідів робилися нераз і очевидно,
подробіщі тих досвідів були значно складніші, ніж
у нашому описі. Одначе я не знаю випадку, коли-
би ці досвіди ставили собі за безпосередню мету
провірку законности помірів, бо люди науки, осо-
бливо в останні часи, не займаються льогікою по-
мірів. Все-ж таки в дійсности така провірка ро-
биться кожного дня, й завсїди виходять певні ви-
сліди. Величина, яку ми назвали «скількистю елек-

тричності», приймилася загально в науці й зробилася підставою багатьох інших розмірів електричності. Не зважаючи на те, багато учнів не потрапили-б, ясно виложити основи й помічання, потрібні для її вимірення.

15. *Додатна й відємна електричність.* Читач, правдоподібно, завважить, що я говорю тільки про одну «скількість електричності», хоч теорія знайомить нас із двома родами електричності, скляною електричністю й шовковою електричністю. Чи потрібно нам обох кількостей для повного опису всіх електричних явищ? Ні, непотрібно; й ця обставина являється замітним висновком прийнятих нами пояснень й одним із їх найважливіших висначних прикмет.

Ми завважали, що коли тіло, наряджене скляною електричністю, притягує друге наряджене тіло, то тіло, наряджене шовковою електричністю, відтручує останнє тіло. Коли зіткнуті оба наряджені тіла, щоби їх електричності змішалися, то їх ділання взаємно зносяться й притягання стає менше, ніж притягання кожного окремого тіла. На першій погляд може здаватися, що змішання електричності притягатиме ненаряджене тіло сильніше, чим кожне з окрема, коли оба ряди електричності притягають таке тіло. Одначе така гадка показується неправдивою; притягання ненарядженого тіла стає меншим, і то о тільки разів, оскільки зменьшилось притягання нарядженого тіла. Теорія, яку ми вище виложили, легко поясняє нам той факт. Приймім, що тіло А наряджене скляною електричністю, а тіло В шовковою, та що, відповідно до пояснень, скількість електричності, що знаходиться в А і В, передана тілу С. Може трапитися, що С покажеться цілком ненарядженим. Одначе, коли ми, уділивши С одну із кількостей електричності, заберемо цю кількість, замість того, щоби додати

другу, то вислід буде однаковий — С покажеться цілком ненарядженим. Бачимо в такий спосіб, що додання одного роду електричності має такий самий вплив, як усунення другого роду. В аритметиці, коли віднімання числа рівнозначне з доданням другого числа, то перше число називають відємним другим числом: вислід додавання $+ 2$ такий самий, як і вислід віднімання $- 2$. Коли відповідно до того в нашій вище описанім випадку назвемо скількість електричності в А або в В $+ a$, то мусимо назвати скількість електричності в В або в А $- a$ й тоді не треба нам заводити ніяких дальших означень для того, щоби зміняти скількості електричності обох родів. Одначе ми мусимо переконатися при допомозі таких досвідів, як вище описані, що та метода приводить до згідних вислідів. Це підтвердили поміри на практиці.

Лишається ще питання, чи не повинні-б ми, докладніше формулювати означення (2). Чи не повинні ми дійти до різних оцінок скількості електричності в тілі, в залежності від того, якою електричністю, скляною чи шовковою, наряджено тіло, що представляє своїм нарядом скількість електричності, рівну 1? На це питання досвід дає таку відповідь: Одиноким вислідом зміни скляного наряду поодинокого тіла на шовковий являється зміна знаку скількості електричності певного тіла з $+$ на $-$ або на відворот; число-ж, що представляє скількість електричності, читається незмінним. Величина $+ 2$ перейде притім на -2 , але не на $- 3$ або $- 1$. Ця обставина являється законом наслідком досвідів і дуже корисна для нас. Цей закон можемо інакше висказати так: Коли тіло А, наряджене скляною електричністю, притягає або відпихає тіло С з такою самою силою, як тіло В, наряджене шовковою електричністю, відпихає або притягає С, то скількості електричності в А і

в В, злучившись, як це вище представлено, в тілі D, не змінюють наряду D.

Тому, що скількості скляної електричності відповідають у цілості скількостям шовкової електричності з відворотним знаком, то скількості додатної електричності представляються додатними числами, а скількості відємної електричності — відємними числами. Яка електричність зв'язана з даним знаком, це не основне питання. Умови чисто випадкові приписують додатний (+) знак скляній електричності й відємний (—) — шовковому; тому й завсіди терміни «скляна електричність» і «шовкова електричність» заступаємо термінами «додатна електричність» і «відємна електричність».

16. *Пристосовання помірив.* Коли нам у якій небудь області знання удалося значити величини, які можуть бути зміряні, тоді перед нами розкривається нове поле для розслідув. У таких випадку можемо спробувати, знайти взаїмовідношення, які завсіди існують між змірними величинами. Вираження тих взаїмовідношень, коли їх знайдеться, являються законами, подібними до тих законів, із яких ми виходили, це-б то законів, що описують наші помічення. Одначе слід завважати, що ці останні описи дуже незвичайні; помічення, описувані тими законами, можна часто робити, заки ще удасться кому, зробити вказаний опис, що не має підготовного знання. Не належить уявляти собі, що до законів доходить ся просто досвідами й поміченнями. Це правда, що логічно не є неможливо, викрити який небудь закон при допоміг самих помічувань, одначе фактично завсіди форма закона, — а форма грає завсіди важну ролю —, означається для більше важних законів ідеями, зв'язаними з якоюсь теорією. Хоча логічно закони випереджують теорії, найважливіші фізикальні закони історично появились пізніше теорії. Ті найважливіші закони по більшій части

встановляють взаїмовідношення між змірними величинами й на мою гадку можна твердити, що ані одна нова змірна величина ніколи не впроваджувалася до фізики інакше, як наслідком пристосовання якої небудь теорії. Погляд, висказаний деякими визначними вченими, що розсвід величин іде краще при відсутності теорій, можна прийняти тільки тоді, коли термін «теорії» прийматимемо цілком інакше, ніж ми то тут робимо.

Найважливіші закони науки про електричність, що встановляють взаїмовідношення між змірними величинами, такі:

1. Сила притягання нарядженого тіла иньшим нарядженим тілом, що знаходиться в означенім од нього віддаленню, є пропорціональна до скількості електричності в тім тілі¹⁾.

¹⁾ В сучасній математичній теорії електричності (1) являється не законом, тільки означенням «скількості електричності»; перші два означення параграфу 14 задержуються, а замість третього впроваджується ось яка: Коли нажемо, що скількість електричності в однім тілі є вдвоє більша чим у другім, то розуміємо під тим, що це тіло ділає із силою в вдвоє більшою, ніж друге тіло, на третє тіло, однаково віддалене від обох перших. Означення 3) є в такім разі законом, який твердить, що зіткнення при певних умовах викликає перехід наряду одного тіла на друге.

Я дав першенство означенням, які подано в тексті, із двох причин. По перше, вони краще годяться з історичним розвитком предмету, а по друге, дають прегарну нагоду вияснити логіку помірив. Сучасне означення цілком не залежить од тої логіки, оскільки розходитьсь о науку про електричність. Воно бере поняття про силу з динаміки, де доказується дорогою досвіду, що сила — це справжня змірна величина. А що при означенню помірив сили являються окремі перепони, що не є взагалі звязані з логікою мірвання, то показалося кращим обминути ці труднощі, вживаючи систему мірвання, яка не має в собі того поняття. Ми побачимо, що при наших помірах ніколи не зустрінемося з силою, два рази більшою від другої сили, а тільки з силою, рівною другій силі. Із трьох означень сили матимемо тому до діла тільки в двома першими. Трудности ж, як завсіді, звязані з третім означенням.

2. У кожній ізольованій системі тіл сума скількостей електричності, що знаходяться на всіх тілах, лишається незмінною при яких небудь перемінах тіл.

Думаю, що по правді розбираючися логічно, треба вважати другий закон тільки означенням »ізолюваної системи«; однак він описує дуже важні факти, які було-би дуже трудно виразити в формі, більше бездоганній з точки погляду логіки.

Користуючися тими законами, можемо без труднощі означувати нові змірні величини. Коли ми знайдемо, що означені величини завжди однаково зв'язані з другими величинами, то дамо тій зв'язі окрему назву. Так означивши величини »вага даної скількості води« й »об'єм даної скількості води« й знайшовши, що вони одна до другої пропорційнальні, зараз можемо означити при допоміж відношення ваги до об'єму величину, яку називаємо »густотою води«. З логічної точки погляду такі означення обмежуються тільки до слів, однак вони важні тому, що звертають нашу увагу на той факт, що деякі комбінації величин мають спеціальний інтерес.

Із електричних величин, які означаємо таким способом, одну тільки належить зазначити величину, яку називаємо »електричним потенціалом«. Коли два тіла, наряджені електричністю того самого знаку, є злучені дротом, то загально одно тіло тратитиме електричність, а друге набуватиме її. Однак до тепер ще не маємо ніяких даних для рішення питання, котре із двох тіл тратитиме електричність, а котре набуватиме її. Не завжди набуває електричність те із двох тіл, що містить меншу її скількість.

Електричний потенціал грає при тім таку роль: Коли два наряджені тіла злучені дротом (прово-

локою), то тратить електричність те із них, потенціал котрого більший. Він означається як величиною наряду в тілі, так і формою тіла й його відношенням до інших тіл. Ту величину можна-би зробити первісною змірною величиною в науці про електричність замість тієї, котру ми назвали »скількістю електричності«, бо-ж метода її означення також міститься в теорії. Коли дві посудини з водою злучені лійкою, то вода потече із тої посудини, в котрій вода знаходиться під більшим тисненням. Електричний потенціал грає роль, аналогічну до того тиснення течі.

17. *Електростатика.* Для наших цілей нема потреби, входити глибше в електростатику, як частину науки про електричність, яка займається законами й теоріями, що ми їх розібрали. Ми дійшли при її розгляді до тієї точки, від якої починається її виклад, цікавий для учнів, що спеціально займаються тією наукою. Цей виклад складається із двох частин. Перша частина містить логічні висновки розглянутих нами законів. Загальне завдання полягає тут на означенню значіння ряду електричних величин для різних систем тіл певної форми й означеного положення. Це завдання дає привід до виводів, що мають значний математичний інтерес, і має важке значіння для другої частини, що складається із опису різних винаходів, збудованих на вислідах, які здобуті електростатикою й служать для pomірів різних електричних величин. Очевидна річ, що оба ті відділи не мають ніякого інтересу для звичайного читача й тому ми переходимо до цілком нового відділу явищ, які приводять до формулювання нових законів і розв'язання нових теорій.

РОЗДІЛ III.

Електромагнетизм.

18. *Основні закони.* Коли в посуду, наповнену розводненим сірчанним квасом, вложимо пластинку чистого цинку й пластинку чистої міді так, щоби вони не стикалися, тоді не буде ніяких замітних перемін. Одначе коли обі пластинки зіткнуться з собою або коли їх злучимо металевим дротом, тоді повстають хемічні переміни: цинк поступенно розложиться у квасі, а подібний до газу водень, що виділюється із квасу, вивисвободжується на поверхні міді. Рівночасно видно переміни і на дроті, що сполучує пластинки, — він розгрівається, а коли приблизити до нього магнетну стрілку, завішену так, як у звичайнім компасі, то стрілка, що первісно була обернена кінцями на північ і на південь, проявить тепер наклін стати перпендекулярно до дроту. Хемічні переміни й відклонення стрілки тривають так довго, доки дріт цілий й доки цілий цинк не розложиться. Як тільки сполучення перерветься, тоді зараз ці явища перериваються.

Хто хоч трохи знає фізику, той знає ті факти й розуміє крім того, що ті явища треба розглядати як електричні. Одначе можливо, що не кожний, хто це знає, зуміє пояснити значіння того, що ті явища електричні або доказати правдивість того. Тому розглянемо подрібніше, що значить це твердження і в який спосіб можна його означити.

19. „*Електричність тертя*“ й „*електричність Вольти*“. Очевидно, що наше твердження має на меті якусь звязь між цими явищами й тими, котрі ми описали й розібрали в попереднім розділі; та ті явища не уявляють із себе окремих випадків вищеописаних явищ. Нові закони, що відносяться до тих явищ, ніяким способом не можуть бути ви-

ведені із законів, які ми вище поставили, тому що в них містяться нові поняття, наприклад поняття о магнеті, яких ми вище не стрічали. Що більше, ми можемо сказати, що при поставленню тих законів нема потреби, впроваджувати терміни «електричність» і «електричний»; вони потрібні що йно тоді, коли створюємо теорію для пояснення тих законів. Твердження, що нові явища електричні, мусить мати зв'язь із теорією, яку ми вложили в попередньому розділі, а то воно значить, що нові закони можна пояснити тою теорією або прямо розвиваючи її так, що й старі, й нові закони будуть обняті одною теорією електричності.

Тільки того твердження не можна робити до того часу, доки не буде доказу, що існують спільні елементи в обох родах законів. Історично ідея про зв'язь між тими й другими законами обосновувалася на фактах, яких ми не розбирали, але, навіть знаючи тільки вище описані факти, можна винайти зв'язь між обома родами явищ, розглядаючи різне відношення до тих явищ металів і твердих, неметалічних тіл. Коли замість дроту, що в вище описаному досвіді сполучував цинкову й мідяну пластинку, возьмемо матеріал, який в електростатиці називається злим провідником (ізолятором), то дріт із такого матеріалу не проявить ніяких окремих свійств при досвіді. Взагалі і тут дістаємо такий самий поділ усіх матерій на дві класи, як і в електростатиці.

Цей факт каже нам здогадуватися, що можливо теорія електричності кине світло на нові явища. Ця теорія вважає різницю між добрими й злими провідниками в відношенню до електричності, аналогічною до різниці між порожним і густим тілом у відношенню до протікаючої через тіло течії. Одне свійства порожньої рурки різні, відпо-

відно до того, чи проходить через неї ток течі, чи ні; тому приймаємо, що різниця в свійствах тих тіл, що подібні до рурок і лучать цинк і мідь, залежить від того, чи по них проходить або не проходить ток «електричної течі». Це прийнято зараз після того, як відкрито окремі свійства дроту, що лучить пластинки «елементу Вольти» (або «вольтаїчного елементу», це-б то вище описаної комбінації із цинку, міді й розводненого сірчаного квасу) й багато літ питання про вартість цього пояснення обговорювалося в такій формі: «чи вольтаїчна електричність та-ж сама, що й електрика тертя?»

Аналіза даної вище теорії показує, що така форма питання небажана; вона аж надто ясно приймає, що «вольтаїчна електричність» і «електричність тертя» — це матерії в тім значінню, в яким вода є матерією. Крім того така форма допускає неясність і затемняє природу річей. І хоча приблизно від 1830 року ніхто не сумнівався про підтакуючу відповідь на те питання, все-ж таки по правді досвіди, потрібні для тої відповіді, були зроблені щойно 50 літ пізніше. При тім ті досвіди мали на меті, дати відповідь на цілком иньше питання, якого не міг-би завдавати чоловік науки, коли-б він знав відповідь на попереднє питання й думав логічно. Історія теорії електричності в початках 19-ого століття прекрасно малює нам небезпеку вживання слів, не розслідивши їх зміслу. Одначе очевидно легко розважувати щойно тоді, коли вже запізно.

20. *Ідентичність електричності тертя й вольтаїчної електричності.* Коли вольтаїчна електричність ідентична з електричністю тертя, то, знаючи обставини системи що до електричності тертя, ми тимсамим мусимо знати й її обставини що до вольтаїчної електричності. Та для того, щоби докладно

знати обставини системи що до електричності потирання, треба знати для кожної частини системи значіння електричних величин, що були описані в попередньому розділі — скількості електричності, що міститься в кожній частині системи в даний момент, і взаїмні положення тих частей. З другого боку, тому що ми під вольтаїчною електричністю розуміємо чинник, що викликає переміни свійств дроту, що лучить пластинки вольтаїчного елемента, то, щоби знати вповні обставини системи що до вольтаїчної електричності, ми мусимо вповні знати всі величини, звязані з тими свійствами дроту — скількість тепла, що витворюється в дроті, величину й напрям сил, що впливають на магнетну стрілку при данім її положенню в відношенню до дроту, скількість розложеного цинку й скількість витвореного водня. Тому коли вольтаїчна електричність та сама, що й електрика потирання, перший ряд величин мусить вповні означуватися другим, це-б то досить знати один ряд, щоб означити всі величини другого ряду так, як знання об'єму, температури й густоти газу вистарчає для означення того явища.

Досвіди, котрі доконче потрібні до того, щоби відповісти на поставлене питання, складаються з одного боку з означень для більшого числа різних вольтаїчних елементів, електричних величин для кожної частини елемента, з другого боку з означення таких величин, як величина й напрям сил, що діляють на магнетну голку. Коли ці означення зроблено, тоді треба розслідувати, чи звязані між собою стало два ряди величин. Цей розслід не дасть правдоподібно додатного висліду, коли при тім не руководитимемося поставленими ідеями про природу шуканих взаїмовідношень, тому що ті взаємини незвичайно складні й майже не дадуться в'яснити при звичайнім досвіді. Тут знов дає нам

поміч теорія й приготовані нею аналогії. Коли-б ми стали розсліджувати зв'язь між свійствами порожньої рурки, що залежать від переливання нею води, й станом протікаючої води, то ми знайшли-би, що такі головні свійства зв'язані дуже просто з такими величинами, як скорість бігу води або натиск, під яким перепливає вода. Через те, природна річ, перш усього належить шукати взаїмовідношення між такими величинами, як скількість тепла, що повстало в дроті, це-б то такими, що означаються свійствами дрота, й такими, як скорість переходу електричності по дроті, це-б то скількість електричності, яка відбирається від одної пластинки й переноситься на другу за означений протяг часу. Скорість переходу, очевидно, залежить від електричних потенціалів обох пластинок, злучених дротом, й поміри її грають важну роль в даних розслідах¹⁾. Указані помічення дуже трудно справдити так, як і значіння електростатичних величин у системах, що мають ясно виражені свійства вольтаїчного елемента, або багато більше, або багато менше значінь тих самих величин у системі, що виразно виказує електростатичні явища, описані в передньому розділі. Тому

¹⁾ Не говоримо тут нічого щодо електричних потенціалів пластинок, однаке це очевидно, що коли окремі свійства дроту залежать від круження по ній «електричного току», то мусить існувати різниця потенціалів пластинок, боже електричність переходить з одного тіла на друге тільки при різниці їх потенціалів. Викриття різниці потенціалів обох пластинок розглядалося перед тим як доказ ідентичності вольтаїчної електричності й електричності тертя. Однаке цей доказ не можна вважати остаточним, доки не буде встановлено, що вольтаїчні величини означаються вповні електростатичними величинами. Тут важно не те, що тут маємо різницю потенціалів, а те, що при однакових різницях потенціалів і інших електростатичних величин, так само однакові теплота, що повстає в дроті сили, що діляють на магнетну голку і т. д. Коли-ж останні обставини усталені, тоді позитивна відповідь запевнена.

то й трудно в обох випадках зміряти ті величини тою самою метою, так само, як трудно, одною метою змірити докладно промір краплі води й земної кулі. Одначе й ті труднощі побороно й здобуті висліди ствердили цілковиту ідентичність вольтаїчної електричності й електричності тертя. Виявилось, що скількість теплоти, що витворюється в дроті, вповні означається продуктом двох електростатичних величин — скількості електричності, що пройшла по дроті з одної пластинки на другу, й різниці потенціалів між кінцями дроту. Величина сил, що ділають на магнетну голку, означається цілковито скорістю перепливання електричності по дроті. Скількість розложеного цинку й скількість витвореного водороду означаються вповні повною скількістю електричності, що пройшла по дроті. Коли це все усталено, але анї на хвилю раніше, тоді щойно стало можливо, користуватися своїми вольтаїчного елементу для помірив електростатичних величин. Тепер можливо на приклад, означати скорість перепливання електричності по дроті (яка кажуть, «ток у дроті»), розсліджуючи сили, що ділають на магнетну голку. В практиці тепер усюди користуються саме такими методами. Одначе вони були-би недостовірні перед тим, як були зроблені вище названі досвіди.

21. *Висновки ідентичности.* Два окремі висновки з теорії вольтаїчного елементу, що ідентифікує електричність, заслуговують на спеціальну увагу. Через те, що повна скількість електричності в ізолюваній системі, яку представляють на приклад пластинки в течі, незмінна, то електричність, протікаюча по дроті із одної пластинки, не може зникати в дорозі до другої пластинки; вона мусить або лишитися в цій другій пластинці, або вертати якою небудь иншою дорогою до першої пластинки. Досвід показує, що останній здогад правдивий;

електричність вертається через теч, у котру вложено пластинки. При bliщому розгляді покажеться, що та теч має такі самі свйства, що й дріт.

Так то, як ми вже вище згадали, сили, що ділають на магнетну стрілку, вповні означаються скорістю току електричності по дроті від одної плитки до другої, формою дроту й його положенням що до стрілки. Одначе електричність можна перенести з одної плитки на другу, не злучуючи їх дротом; для того треба тільки ряд тіл зіткнути спершу з одною плиткою, а після того з другою. Коли ті тіла малі й посуваються від одної плитки до другої дорогою, яку перше займав дріт, і коли скількість електричності, яку передають ті тіла на протяжі означеного часу з одної плитки до другої, рівняється скількості електричності, що переходить на протяжі того самого часу по дроті, то ті тіла, що посуваються, є що до току електричності, протікаючої даною дорогою, аналогічні до дрота. Коли наша теорія ідентичності вольтаїчної електричності й електричності тертя правильна, то тіла, що посуваються, повинні ділати на магнетну стрілку з такими самими силами, що й еквівалентний їм дріт. Коли-б то не було так, то це значило-б, що сили, ділаючі на магнетну стрілку, означаються величинами, що ріжняться від електричних величин, та що вольтаїчна електричність і електричність тертя не одне й те саме. В дійсности такі досвіди показали, що обі вказані методи перенесення електричності еквівалентні. Цей висновок відіграв велику роль в справі сучасного розвитку теорії електричності.

Читача може збентежити одна, ще не прояснена обставина; ідентичність електричності тертя й вольтаїчної електричності ми встановили поза всяким відношенням до того факту, що наша теорія електричності тертя ставить передумовою існо-

вання двох родів електричних течей. З котрою-ж течєю ідентична вольтаїчна електричність? Розібрані досіль явища не дають ніякої відповіді на це питання. Одначе зараз не мало-б змислу, питатися, чи міститься електричний ток, який дістаємо злучуючи дротом додатно наряджене тіло А з відємно нарядженим тілом В, в переході додатної електричності з А до В, або в переході відємної електричності з В до А, або в обох явищах рівночасно. В дійсности вираження: »ток електричності« має тільки тоді змисл, коли принята теорія електричності розвинена на стільки, що вже неможливо, розрізнявати оба роди токів й не буде явищ, які з більшим управлінням можна було-б приписати утраті додатної електричності, а не прибутковій відємної. Теорія натякає справді на можливість відкриття подібних явищ і ті явища відкриті, тільки що їх розсліd лежить за межами наших завдань.

22. *Теорія Ампера.* Закони, представлені в 14 параграфі, не містять у собі цілості нашого знання про чинність току електричності. Кожний із тих законів піддавався ще дальшим розслідам, одначе ми не будемо зараз розслідувати вислідів тих студій, з виїмком одного. Розгрівання дрота, це питання великої технїчної ваги, одначе розсліd того питання не має теоретичної вартости. Розсліди хемічних перемін — розпущення цинку й витворення водороду — привели до нової галузі науки, що мала вплив і на хемію, і на фізику, але й ті питання лежать поза межами нашої праці. Все-ж таки не можемо цілком поминути ділання електричного току на магнетну стрілку.

Відклонення магнетної стрілки викликається не тільки током, що пливе по дроті; вона відхилюється, як звісно, також тоді, коли приблизити до неї другий магнет. Розсліd залежности між відхи-

леннями магнетної стрілки, формою дрота, по яким переходить ток, і величиною току, що пливе по дроті, привело Ампера до поставлення правил, які дозволяють означити форму магнета, еквівалентного даному коловому токові що до його ділання на магнетну стрілку. Він знайшов, що форма такого магнету вповні означається видом дрота й величиною тока в ній. Одначе коли два колові токи еквівалентні в відношенню до їх ділань на магнетну стрілку двом магнетам, то вони мусять відповідати останнім також у розумінню їх взаїмного ділання, це-б то вони мусять, подібно як два магнети, ділати на себе взаїмно з означеними силами. Показалося справді, що під кожним оглядом коловий ток еквівалентний певному магнетові й на відворот. Велике число сторінок в підручниках фізики для студентів призначається на вилуження правил Ампера й їх пристосовання для означення в різних випадках, важких для техніки або теорії, сил, ділаючих між магнетами й коловими токами або межі двома коловими токами.

23. *Наука про енергію.* Розберім тепер усі ці питання з иньшої точки погляду. Коли кінці дрота прилучені до плиток елементу й по ній пливе ток, то магнет, що знаходиться близько дрота, старається, змінити положення. Повстає питання: чи існує відворотна чинність, чи повстає в дроті ток, коли коло нього ворухиться магнет? Щоби зрозуміти, що розуміємо під «відворотним» діланням і чому належить його сподіватися, мусимо, хоч-би тільки дуже коротко й недокладно, начеркнути головні точки науки про енергію.

При розсліді перемін, які відбуваються в сполученню яких небудь тіл, показується звичайно, що переміна в одному тілі супроводиться переміною в яким небудь другим тілі. В нашій випадку переміна в положенню магнета відбувається тільки

тоді, коли наступає переміна з цинком елементу й протилежно, переміна, яка діється з цинком, не може не супроводитися переміною в положенню магніта. Кожна із таких перемін, що зв'язані з собою, може після відповідного розсліду вживатися для означення різних змінних величин. Ті величини такі, що значіння одної із них не може змінюватися без переміни значіння другої. Легко вибрати означення величин так, щоби із ростом величини, означеної одною із зв'язаних перемін, величина, означена другою переміною, зменшувалася. Далше, й ця обставина дуже важна, ми можемо легко вибрати із числа цих зв'язаних величин пару таких, що зріст величини, означеної одною переміною, рівняється зменшенню величини, означеної другою переміною. Ціі такі величини називаються «енергією». Із того означення енергії виходить, що сума значіння енергії для всіх тіл системи завжди та сама, бо зріст енергії в однім тілі доконче супроводиться рівним зменшенням енергії в другім тілі. Казати, як то часто кажеться, що «енергія не пропадає», значить, говорити лишні слова: важно це, що існують такі величини, як «енергія».

Коли-ж такі величини, як енергія, існують, то з того безпосередно ясно, що при обороті напряду одної із зв'язаних перемін, і напрям другої переміни мусить змінитися на відворотний. А що одним із перших тверджень для фізика є твердження, що для всіх перемін можна означити величину із своїми силами енергії, то фізик на всякий випадок безумовно буде шукати «відвортної» переміни. Коли переміна тіла з А на А' викликає переміну другого тіла з В до В', то фізик очікує, що коли при деяких умовах друге тіло перейде переміну із стану В' в В, то в той самий час перше тіло вернеться із стану А' в А¹⁾.

¹⁾ Застереження «при деяких умовах» має більше значін-

24. *Індукція токів.* У даному випадкові дуже легко, створити потрібні умови, й при тім приходить до тих самих вислідів, яких каже очікувати наука про енергію. Возьмім дротяну петлю й умістім близько неї магнетну стрілку, що свободно завішена так, щоби її вісь була рівнобіжна до напрямку дрота в тім місці. Розріжмо тепер дріт і злучім його кінці з двома пластинками вольтаічного елементу. Ток пливе по дроті й стрілка уставляється так, що її вісь ставиться перпендикулярно в напрямі дрота. Після того відділім кінці дроту від пластинок елементу й злучім їх наново. Сталися дві переміни: даний ток перейшов по дроті, й стрілка змінила своє положення. Наука про енергію приводить нас до заключення, що, коли при сприяючих обставинах обернемо стрілку до її первісного положення, то тим викличемо ток, що проходитиме по дроті в противному напрямі. Підходячі умови можна легко досягнути; треба тільки повернути стрілку назад рукою, й замітимо в дроті ток, що посуватиметься в відворотнім напрямі. Одначе при таких умовах ми не можемо нічого сказати про дійсну природу току, що тече по дроті при руху магнетної стрілки. Більш докладний розслід ділання току на стрілку дозволяє нам, зблизитися до тих виводів. Виявилося, що означена зміна положення стрілки дає означену скількість електричності, що приходить по замкненім дроті.

ня, бо-ж може легко трапитися й це дійсно трапляється, що переміна стану другого тіла з B' в B супроводиться переміною складу даного третього тіла, що не перейшло ніяких перемін при первісних перемінах із A в A' і із B у B' . У таким випадку наука про енергію не дозволяє нам сподіватися, що переміна з B' на B супроводитиметься переміною з A' на A , бо тут звязана переміна енергії відбувається з третім тілом. Одначе коли можна створити такі умови, при котрих переміна з B' на B супроводиться переміною стану одного тільки першого тіла, то ця переміна мусить супроводитися останнім і то переходом із стану A' у стан A .

Величина того току й період його існування залежить од природи дрота й інших обставин, та доки стрілка холітається між означеними положеннями, а дріт стоїть на одному місці, то по останньому перепливає та сама скількість електричності. Коли магнет переноситься з одного положення на друге, то ток у дроті зараз же спиняється; піддержуючи безпереривний рух магнета, можна зробити й ток у дроті безпереривним.

Це й єсть та «відворотна» переміна, якої ми сподівалися. Вона має велике технічне значіння, бо ж динамомашини — це в дійсності дротяні скрути, довкола котрих обертаються магнети, утримуючи стало ток у скрутах. Одначе нас цікавлять тут далеко більше інші сторони тих явищ.

У читача може повстати питання: Чи залежить це явище від факту руху магнетної стрілки, чи від того, що рух тієї стрілки змінює силу ділання тієї стрілки на магнет, яким являється ток у дроті? Відповідь на це питання можна дістати, коли заступимо магнетну стрілку коловим током, їй еквівалентним. У такому разі маємо змогу, перемінити силу ділання того магнету на дротяну петлю, пересуваючи ток або міняючи його силу. Як і можна було сподіватися, ми знаходимо, що оба процеси викликають хвилевий ток у дротяній петлі. Дальші розсліди показали, що скількість електричності, перепливаюча в дроті за час існування цього току, означається виключно зміною магнетної сили ділання магнета на дріт, а спосіб переміни майже не грає ролі.

25. *Електрична інерція.* Таким чином ми доходимо до цікавого вислїду: змінюючи ток у коловім проводі можна викликати ток у сусідньому коловому проводі. Це явище має технічну назву «індукція токів». Зараз же постає друге питання: коли зміна току в однім коловім провіднику (злуч-

нику) викликає перемену току в сусіднім провіднику, то чи не може при тім повставати зміна в головнім провіднику? Здогад, що зміна току в (добрім) провіднику мусить викликати ток у тім самім провіднику, видається трудним і мало зрозумілим. Одначе треба тільки згадати, що вплив зміни току може виразитися тільки у повстанню хвильового току, що міститься в переході означеної скількості електричності по провіднику. Це явище може змінити ток, що пливе по провіднику, тільки на короткий протяг часу після того, як напустила переміна. Дальше міркування доводить нас до висновку, що, коли зміна току в провіднику індукує в ній зміни такого-ж роду, що і в других провідниках, то ми мусимо знайти, що зміна току (на приклад розірвання дрота, через що переривається ток) не відбувається нагло, але в протязі означеного часу, потрібного для того, щоби по провіднику перейшла індуктована скількість електричності. За цей протяг часу ток поступенно змінюється, пристосовуючися від старих до нових умовин. Це явище можна очевидно помірити. Коли нагло відіймати дріт від плиток і злучити її кінці, то після означеного протягу часу не буде в проволоці ніякого току. Та коли досвід перевести скоро, слідячи за відійманням, то побачимо, що ток переривається не нагло, тільки на протязі означеного часу, котрого величина залежить від форми, матеріалу проволоки і т. д., при чім ток поводи спадає від свої першої сили до нулі. Можна заважити, що існування таких явищ передвиджується нашою теорією електричності без окремої звязи з магнетними явищами й наукою про енергію. Воно передвиджується вже тим фактом, що для пояснення деяких законів ми вживали аналогії з течами. Через те можемо явища, що повстають при сполученню проволокою плиток вольтаічного еле-

менту, уподібнити до бігу води в замкненому каналі під діланням помпи (що представляє аналогію елемента), уміщеної в однім місці каналу. Коли помпа перериває роботу, ток води переривається не нагло, він слабне поволі до нуля.

Це свійство води ми маємо на гадці, коли говоримо, що вона має інерцію, й користуємося тим для означення дуже важної величини, яку називаємо «масою» води. Аналогічно при відділенню проволочки від елемента ток електричності має перериватися не нагло, а поступенно, і, як ми бачили, це й підкріплюється на практиці. Цей вислід можемо інтерпретувати, тямлячи одначе все, що говорилося про обережність, потрібну при інтерпретації тверджень, що містяться в теорії, кажучи, що електричність посідає інерцію, і так ми можемо поспробувати, означити й «масу електричності».

На жаль наші спроби в тім напрямі не можуть дати успішних вислідів. Ми не можемо означити так, як з водою, такої величини, яка залежить тільки від скількості електричності, протікаючої по провіднику, і не залежить від яких небудь інших обставин. Можемо означити величину в деяких важних чертах, що схожа з масою води, одначе залежить від вигляду дрота й його відношення що до інших дротів. В кожному разі грає поняття про інерцію електричного току дуже важну роль, й ми покористуємося ним при дальшому розвитку теорії.

26. *Закінчення.* Цим закінченням замикаємо наш огляд «теорії електричних течей». Ми знайшли, що вище представлені закони можна пояснити в загальних рисах бодай діланням двох течей, що мають два різні ряди свійств. Перший ряд свійств кінцевий для пояснення законів електростатики, другий для пояснення законів електромагнетизму (так називається галузь науки, присвячена тим

явищам, які ми щойно розглянули). Ми бачили, що для пояснення кожного нового закону теоретичної течії треба приписувати нове свійство. Одначе ми завважили, що рівночасно не всі висновки по аналогії правдиві та що не можна приймати їх без переведення досвіду.

Тепер теорія скінчена. Не мало-б вартости приписувати електричним течам які небудь иньші ще свійства, щоби заставити теорію, пояснити ще дальші закони, тому що ті свійства покажуться незгідними з тими, які ми вже розглянули. Сучасний розвиток електричної теорії затримує деякі риси теорії теч і відкидає иньші. Ми не розглядатимемо його в тій книжечці й тому можемо тепер перейти до розгляду теорії, що цілком різниться своєю природою від теорії течей. Ту теорію поставлено на місце теорії течей, одначе пізніше разом з нею прийшла нова теорія, що приймилася в останніх часах. Та теорія звязана нероздільно з іменем Фарадея (Faraday).

РОЗДІЛ IV.

Теорія Фарадея.

27. *Ділання на віддаль і зблизька.* Теорія Фарадея противиться теорії течей в тім змислі, що остання теорія це теорія »ділання на віддаль«, коли теорія Фарадея приймає »ділання за посередництвом середовища«. Ці дві фрази давали привід до безконечних спорів; філософи, дилетанти й фахівці старался, вяснити перевагу одної теорії перед другою при допоміж чистого трансцендентних аргументів. Відповідно до нашого погляду на значіння теорії, всі такі аргументи не мають ніякої вартости. Коли одна теорія має першенство перед другою, то тільки тому, що вона поясняє закони, яких не

може пояснити теорія, яку відкидаємо. Інакше кажучи, теорію можна відкинути й заступити другою на основі досвідів. Які-ж досвіди можуть допомогти нам, зробити вибір між теоріями в нашій випадку? Розберім приклад такого досвіду.

Загально приймається, що ділання притягання є найбільше характеристичним прикладом ділання на віддаль. Відворотно ділання льокомотиви на вагон є діланням зблизька. Вже по короткій розвазі можемо зрозуміти, які факти лежать в основі цього відріжнювання. Сила притягання, ділаюча на тіло В з боку тіла А залежить тільки від прикмет тих двох тіл і їх взаїмного положення; вона не залежить від прикмет якого небудь третього тіла, зокрема від прикмет тіл, що лежать між А і В. З другого боку ділання льокомотиви на вагон залежить не тільки від прикмет тих двох тіл, але також і від прикмет (свійств) тіл, що лежать між ними; коли усунути звязь, то ділання переривається. Теорія »ділання на віддаль« приймає наперед, що те ділання залежить від прикмет тіл, що лежать між тілами, ділаючими на себе.

28. *Відкриття Фарадея.* Теорія притягання була сильно розвинена перед тим, заки остаточно розвинулася теорія електричних течей. Коли викрилося, що взаїмовідношення між силою взаїмного ділання двох наелектризованих тіл і віддаленням між ними незвичайно схоже з відношенням між силою притягання двох тіл і віддаленням між ними, то зробилося природне змагання, уподібнити під кожним зглядом сили електричного взаїмного ділання й сили тяжесті. Зокрема без ніяких досвідів рішено, що електричне взаїмне ділання між нарядженими тілами не залежить від роду середовища, що відділює ті тіла, коли тільки, очевидно, це середовище не є провідником і через те не викликає змішання нарядів і їх неутралізації. Зда-

ється, що Фарадей перший мав сумніви що до того твердження й постановив перевірити його при помочі досвідів. Він брав два наряджені тіла й розсліджував силу їх ділання на себе, коли їх розділювало повітря, й коли простір, що розділяв їх, був заповнений сіркою або иньшими злими провідниками (ізоляторами). Він знайшов, що сила взаємного ділання змінювалася в присутности сірки і вивів із того, що електричне ділання не може уявляти із себе ділання на віддаль.

Фарадей допускав, що це відкриття не може погодитися з теорією електричних течей, і що до того не помилився. Рішаючи досвіди, що відразу дозволяють зробити вибір між теоріями на взір »правил індукції« й багато иньших річей, це міти, які існують тільки в уяві філософів, що цілком не знайомі з наукою. Всякий експериментальний результат можна звязати з якою небудь теорією, коли тільки зробиться достаточне число помічних передумовин. Ціле питання міститься в справедливости тих передумовин. В нашім випадку ці доповнюючі передумовини, що дозволяють нам, звязати відкриття Фарадея з теорією електричних течей, на стільки прості й очевидні, що мало хто рішився би, виступити проти них. Ми бачили, що притягання ненарядженого тіла нарядженим, наша теорія поясняє тим, що приймає, що під впливом наряду ріжноіменні електричності в ненарядженім тілі розділюються, займаючи дві частини того тіла. Коли між двома нарядженими тілами А і В поставити пластинку сірки, то розміщення електричності в останнім тілі змінюється. Перше на В ділала тільки сила, звязана з тілом А: коли-ж появилася пластинка сірки, то на В крім тої сили ділає ще сила, залежна від електричностей сірки, які, розділившись, взаємно не компенсуються. Різницю між сіркою й повітрям можна спровадити до різниці

в скількості різноіменних електричностей, що містяться в тих матеріях, або до різниці в розміщенню тих електричностей під впливом зовнішнього наряду. Фактично це пояснення вповні вдовольняє, й усі явища, зв'язані з заміною середовища другим, можна випровадити з теорії електричних течей, що приймає, що сили взаємного ділання двох нарядів залежать тільки від їхньої величини й віддалення між ними.

29. *Теорія Фарадея.* Розбираючи випадки такі, як цей, треба доконче тямити артистичні й логічні прикмети теорій. Коли-би Фарадей, найбільший і найгеніальніший фізик усіх часів, попробував, піддержати теорію електричних течей, то він перший переконався-б про можливість вище згаданого пояснення. Одначе, він не зробив тої спроби. Теорія електричних течей ніколи не відповідала його артистичному чуттю, а відкриті факти осмілили його, шукати иньшої теорії і вказали йому на деякі дані для того. Він зачав припускати, що різниця між нарядженим і ненарядженим тілом аналогічна не прилученню до ненарядженого тіла якої небудь субстанції, а переміні свійств окруження довкола тіла.

Прийнята Фарадеєм аналогія підтвердилася видом залізних опилок близько магнета. Коли над пласким магнетом помістимо прямовісно кусник картону й розкинемо по ньому залізні опилки, то вони уложаться в ряди кривих ліній, що йдуть від одного бігуна магнету до другого. Коли бігуни одного магнету заступимо двома рівноіменними бігунами, що належать до двох різних магнетів (ці два бігуни, як відомо, відпихаються взаємно), то опилки уставляться знов у ряди кривих ліній, але ті лінії, зачинаючись у одного котрого небудь бігуна, не доходять до другого бігуна й не перетинають ліній, що виходять від другого бігуна.

Закони взаємного притягання й відпихання магнетних бігунів ідентичні з законами взаємного ділання електричних нарядів і, заступивши в досвіді залізні опилки мішаниною сірки й сурика, можна дістати такі самі лінії між двома електричними нарядами. Форма тих ліній означається слідуючими умовами: невелике наряджене тіло, уміщене в якімсь місці одної із таких ліній, рухається здовж тої лінії, доки не дійде до противного наряду або не зійде на більшу віддаль.

Рисунок, який дають залізні опилки на випадок притягання двох ріжноіменних бігунів, напровадив Фарадея на гадку, що це притягання можна пояснити, коли на місце ліній, утворених опилками, представимо собі натягнені еластичні нитки. Змагання цих останніх скоротитися обумовлює взаємне притягання бігунів. Щоби пояснити їхню викривлену форму, Фарадей приймив крім того, що кожна нитка, стараючися скоротитися в напрямі своєї довжини, старається рівночасно відіпхнути її сусідню нитку. Це додаткове свійство ліній поясняло відпихання одноіменних бігунів. Ця ідея стала основою теорії Фарадея. Він представив собі, що електричні притягання й відпихання залежать від присутности тих ліній і ліній сил, як він їх назвав. Наряджене тіло має на собі кінці силових ліній, і тіла, наряджені противними (ріжноіменними) електричностями, мають на собі противні кінці тих ліній. Різниця між нарядженим і ненарядженим тілом лежить по тій теорії не в різниці самих тіл, а в присутности силових ліній, що зв'язує тіла з другими тілами. Теорія ділання на віддаль заміняється у Фарадея теорією ділання зблизька.

30. *Свійства ліній електричної сили.* Теорію Фарадея можна розвинути в усіх її консеквенціях так само, як і стару теорію. Першим кроком будо

означення змірних величин. Стара теорія приймала можливість міряння «скільки електричності» або «тиснення електричності». Теорія Фарадея вважає, що змірити можна «число ліній електричної сили» й «напруження (тиснення) здовж ліній електричної сили», або «відпихання між ними». Тому що оба ряди величин означаються відносно тих самих помічень, то мусить бути між ними зв'язь. В дійсності знайдено, що «число ліній електричної сили» пропорціональне до «скільки електричності», а що взаємне відношення між «напруженням ліній електричної сили» й «електричним потенціалом» більше складне. Теорія приймає, що напруження здовж одної лінії електричної сили мусить бути незалежне від існування других ліній, а залежить од їх довжини. На нещастя, цей здогад неправдивий (так само, як і здогад про «масу електричності»), бо напруження здовж лінії електричної сили не залежить од її довжини, а залежить від числа других ліній довкола неї.

Треба завважати, що, прийнявши нову теорію, ми ніяким способом не можемо дати відповіді на питання: «що таке електричність?», бо ця теорія цілком не користується поняттям електричності. Питання признає можливість відповіді, що електричність, це така субстанція, яка знаходиться в тілі, що має означені свійства, за котрі його називають «наелектризованим»; теорія-ж Фарадея недопускає можливості такої відповіді. Вимагати від теорії Фарадея відповіді на це питання, так само розумно, як питати кого, що приймає, що земля плоска (очевидно ми приймаємо, що та особа доволі розумна, щоби загалом відповідати на питання), про величину проміння кривини землі.

Теорія Фарадея старається, пояснити притягання наряджених тіл напруженням (тягненням) і тисненням ліній електричної сили, що зв'язують ті

тіла. Зміна сили притягання й відштовхання, в залежності від зміни природи посереднього простору, що відділює тіла, приписується тією теорією зміні свійств ліній електричних сил при зміні роду посереднього простору (середовища), в котрім вони проходять. Тягнення силових ліній змінюється в залежності від роду злого провідника (ізолятора), через котрий вони переходять; наприклад, у сірці їх тягнення менше, ніж у повітрі. В добрім провіднику лінії сил взагалі не можуть існувати; в таким тілі кінці ліній сил можуть свобідно пересуватися, коли противно в злім провіднику кінці ліній сил електричності стало прикріплені. Через те в добрім провіднику під впливом тягнення ліній сил їхні кінці зближаються й лінії щезають.

31. *Теорія Фарадея й електромагнетизм.* Процес стягування ліній сил і їхнього остаточного пропадання в тілі доброго провідника відповідає в новій теорії тому, що в старій теорії називалося переходом електричності через добрий провідник. Відповідно до того, з тим процесом мусять бути зв'язані розгрівання доброго провідника й відхилення магнетної стрілки. Підчас процесу щезання частини ліній, що з початку знаходилися поза добрим провідником, посуваються під прямим кутом до їх напрямку, бо тиснення з боків слабне наслідком щезання сусідніх ліній. Розслід величини магнетного ефекту при різних умовах щезання ліній сил — з перенесенням під прямим кутом до їх напрямку і без него — показує, що тільки на випадок такого перенесення настає відхилення магнетної стрілки. Коли-ж кінці ліній електричних сил зближаються в такий спосіб, що лінія, як цілість, не рухається в ніякім напрямі, крім напрямку її довжини, магнетного ефекту не буде. Треба взяти під увагу, що такий вислід можна випровадити із розгляду

величини енергії, опираючися на тім вище згаданім факті, що напруження силової лінії не потребує змінитися із зміною її довжини.

Таким чином магнетний ефект, який перше приписувався електричному токові, треба тепер приписувати рухові ліній сили в напрямі перпендикулярнім до напрямку їх довжини. Ці самі міркування, що перше заставили нас, прийняти, що електричність посідає інерцію, заставляють нас, тепер представити собі, що лінії сил посідають інерцію при їхньому рухові у напрямі, прямовіснім до їх довжини, але не посідають її при рухові в напрямі їх довжини. Незвичайна вартість цього вислідку висвітлюється нам незабаром.

32. *Етер*. Тепер належить згадати дуже важне питання, якого розбір доводив до багатьох непорозумінь. Ми вище згадували, що свійства ліній сил належить уважати залежними від природи матерії, через котрій вони проходять. Однак ця обставина наводить нас на гадку, що сили ліній зроблені із тої матерії, як хвилі складаються з води. Інакше яким способом зміна матерії може змінити свійства ліній сил? Та електричне притягання настає і в тім разі, коли між тілами, що притягаються, нема жадної матерії, це-б то коли вони уміщені в найцілковитішій порожні, яку тільки можемо досягнути. Із якої-ж матерії зроблені в такому разі лінії сил? Кожний має очевидно готову відповідь на це питання. В тім разі, говориться звичайно, лінії сил зроблені із «етеру — середовища, що виповняє весь простір, через котрий переходить світло». Таку відповідь дав і Фарадей; вона має дуже велику вартість, бо надає вагу теоріям світла, що користуються поняттям етеру. Прошу читача, пригадати собі, що було попередю сказано що до твердження «електричність — це матерія», щоби мати змогу з належною критикою віднести до твер-

дження, що »етер, це субстанція«. Як »електричність«, так і »етер« — це поняття, які подає теорія, а не закон.

Розгляньмо-ж питання трохи ближче. Коли лінії сил, що проходять через сірку, зроблені зі сірки, то вони мусять рухатися при рухові цілої маси сірки. Одначе коли лінії сил рухаються, а їх кінці прикріплені, то мусить змінити напрям результуюча сила їх ділання на тіла, до котрих прикріплені їхні кінці. Коли всі лінії переносяться на один бік, то й напрям сили, що ділає на оба тіла, переноситься на цей бік. Через те ми мусимо сподіватися, що коли два тіла наряджені і між ними знаходиться широка верства сірки, то при перенесенню сірки мусить змінитися напрям сил, що ділають на тіла. Одначе досвіди показують, що при тім не відбуваються ніякі переміни (коли тільки плитка сірки на стільки велика, що можна не відіймати впливу ліній сил, що розпросторюються поза нею). Ми мусимо отже прийти до висновку, що лінії сил не пересуваються разом із сіркою, тільки лишаються на своїх місцях.

Цю трудність можемо обійти, коли приймемо, що лінії сил, хоч і зроблені зі сірки, але не все зроблені із тієї частини сірки, так як водяні хвилі не завсїди зроблені із тих самих частиць води. В тім випадку сірка може рухатися і без того, щоби лінії сил посувалися разом із нею. Та такий здогад показується неможливим. В дійсности ми маємо ще иньшу дорогу для рішення питання про те, чи рухаються лінії сил, чи ні. Ми бачили, що лінії сил, що посуваються прямовісно до їх напрямку, викликають відхилення магнетної стрілки. Одначе подрібні досвіди показали, що магнетні сили викликаються при руху сірки, навіть коли наряджені тіла, на котрих кінчаться лінії сил, лишаються нерухомими. Тоді, коли досвіди над притяганням

вказують на перухомість лінії сил при руху сірки, досвіди над магнетними силами вказують на їх переміщення.

Для розв'язки цієї суперечности треба теорію трохи змінити й по частині вернутися назад до теорії електричних течей. Ця теорія приймає, що наряджені тіла впливають на сірку, розділюючи в ній ріжності електричності. Коли-б удалося, викрити вплив сірки на притягання тіл, то можна-б його приписати тому розділові електричностей. Але відповідно до теорії Фарадея розділення електричностей представляє розвинення ліній сил поміж ними. Через те можемо прийняти, що лінії сил, що злучують зовнішні наряджені тіла, викликають в ній, переходячи через сірку, розвиток нових ліній. Тому що тиснення здовж лінії сил залежить від числа ліній сил, розміщених коло неї, то нові лінії змінятимуть тиснення здовж початкових ліній, це-б то взаємне притягання зовнішніх тіл. Коли сірка посувається, то нові лінії посуваються разом із нею й викликають магнетні сили. Через те однак, що в міру їх пересування розвиваються нові лінії сил, то тиснення здовж ліній, що кінчаються на зовнішніх тілах, лишається незмінним.

З тої точки погляду нема потреби, приймати, що силові лінії, що переходять через сірку, »зроблені із сірки«. Загалом нема потреби, приймати, що вони зроблені з чого небудь. Силові лінії, що злучують зовнішні наряджені тіла, лишаються такими самими, без огляду на це, через яке тіло не проходили-б. Позірна різниця між лініями сил у сірці й лініями сил у повітрі залежить не від зміни їхніх свійств, але від різниці в числі других ліній, що їх оточують. Можна-б говорити, що лінії сил зроблені з чого небудь, коли-б ми могли уявити собі, що вони зроблені з різних матерій; однак лінії сил представляють саме лінії сил, що не зале-

жать цілком від оточення, й нічого більше про них не можемо сказати.

Однаке, коли лінії сил, що переходять через сірку, не зроблені зі сірки, то нема потреби, представляти собі, на випадок їх переходу через порожню, що порожня заповнена субстанцією, з котрої зроблені ці лінії. Іншими словами, наша електрична теорія не тільки не підтримує поняття про етер, але взагалі цілком не потребує такого поняття. Нам непотрібно, цілком уявляти собі яку небудь субстанцію, з котрої зроблені лінії сил, коли наряджені тіла зближаються, тому що вони потягають за собою лінії сил, уже існуючі й незмінні.

Всі ці міркування можуть видаватися некритичними й непотрібними, але по правді вони дуже важні. В дійсности, доки ми уявляємо собі, що лінії сил, переходячі через сірку, зроблені зі сірки, й лінії, що проходять через етер, зроблені з етеру, цей факт, що рух сірки без руху наелектризованих тіл викликає магнетні сили, приневолює нас, приймати, що й рух етеру мусить викликувати магнетні сили. На перший погляд неясно, що треба розуміти під »рухом етеру«, однаке багато фізиків за 20 літ до нашого часу поклали багато праці на уложення досвідів, в котрих етер міг-би змінити місце супроти наряджених тіл. Їхні досвіди показали, що при даних умовах не дістанемо ніяких магнетних сил. Ці висліди викликали велике здивування й поставлено всілякі здогади для пояснення непритомности магнетних сил. Тепер знаємо, що анальогія, з якої виходили ті фізики, буда цілком хибна!¹⁾ Рух сірки викликає появу магнет-

¹⁾ Тим очевидно не хочу сказати, що хибна анальогія вказує на слабкість тих, хто нею послугувався. Як я вже вище сказав, у науці дуже часто після довшого часу приходять до правди, й згадані мною докази не були нікому відомі, доки не стали відомі висліди, до яких вони приводять.

них сил тому, що рухаються другі лнії сил, що повстають у сірці. В порожні таких лній нема тому, що там нема електричностей, які розділювалися-б. З тої точки погляду від згаданих досвідів не можна було сподіватися позитивних вислідів. Анальоґія була збудована цілком на ідеї, що для теорії Фарадея dokonче потрібно прийняти існування всюди присутнього етеру. Етер не в потрібний; конечно потрібні тільки силові лнії, в ніякім разі не зроблені із середовища, через яке вони переходять.

33. *Електричність і оптика.* Але як мається справа зі світлом? Поняття про етер заведсно наперед у науку для пояснення оптичних явищ. Коли ми затримаємо етер для оптики, а виключимо його із області електричних явищ, то так як-би розвідалися надії, звязані з конечністю етеру як для електричних, так і для оптичних явищ, надії — завести звязь між обома галузями науки. Та, хто зна, чи не можемо і в області оптичних явищ закннути етер і пояснити їх також на основі поняття про лнії сил? Так, ми можемо це зробити: оптичним явищам можемо дати пояснення на основі свійств, властивих лніям сил, цілком так само, як поясняємо явища електричних течей. Таке пояснення дає нам славна «електромагнетна теорія світла», розвинена Мекуелем на основі поглядів Фарадея. До цього часу ми не могли знайти в теорії нічого, що давало-б теорії Фарадея перевагу над старою теорією. Ми навіть змінили її трохи, щоби погодити її зі старою теорією і вкінці знову завели поняття, які ми були відкинули в параграфі 24. Та тепер, на кінці, ми витягаємо із неї виводи, яких ми ніколи не могли-б дістати на основі старої теорії.

Розберім, як можливе існування електричної теорії світла. На перший погляд здається, що не можна

встановити якої небудь звязи між явищами оптичними й електричними, між тим фактом, що ми видимо краски й форми, а тим фактом, що два нагертї кусники скла відпихаються, бо ідеї, що містяться в тих двох гадках, цілком ріжні. Одначе треба вважати, що ми мусимо ставити її, щоби встановити звязь не між законами двох рядів явищ, але межи теоріями, що поясняють ті закони. Чимала частина значіння теорії звязана з тими користями, які вони дають нам, звязуючи цілком ріжні закони. Два закони можуть завсім не мати спільних елементів, а теорії, що їх поясняють, можуть містити в собі спільні елементи, які дають нам змогу, встановити цю звязь, якої шукаємо. Щоби покінчити з тим завданням, мусимо наперед розслідити теорії світла й електричності в надії, що знайдемо достаточну скількість спільних понять для рішення завдання.

Теорії світла, подібно як і всі фізичні теорії, збудовані на аналогіях. Найстарша із важніщих оптичних теорій, теорія Ньютона, була подібно як і давніща теорія електричності, основана на аналогії з переносом матерії. Ці переміни в наших очах, котрі ми називаємо видженням світла, вважалось залежним від переносу із тіла, що світить, ув очі даної істоти. Ця теорія показала ся неоправданою; із неї випливає більше число невірних законів і тільки мало законів, що виглядають правдиві. Цю теорію пізніше виперла цілковито теорія Гейхенса (Huyghens), Юнга (Young) і Френеля, оперта на аналогії з хвилями.

Хвиля представляє собою переміни, що повторяються на оба боки в часі і в просторі. Ці переміни такі, що коли ми спинимо нашу увагу на означеній точці простору, то замічатимемо в ній постійне чергування перемін, які відбуватимуться в постійних відступах часу; коли-ж ми обіймемо оком увесь

хвилюючий простір в означений мент часу, то побачимо правильний (регулярний) ряд перемін, які повторяються в означених віддаленнях. Найбільше відомою формою хвиль являються морські хвилі, або хвилі, що появляються на спокійній поверхні води, коли кинути в воду камінь. Всяка дана система простих хвиль характеризується трьома змінними величинами: 1) інтензивністю, котру означається у хвилях віддаленням від вершка до споду вглублення; 2) частістю, яку мірється числом тремблів, які переходять через дану точку на протязі даного відступу часу; 3) скорістю, це-б то віддаленням, яку переходить даний гребінь у означений одиниці часу.

І так ундуляційна (хвиляста) теорія світла приймає, що світло складається із таких хвиль; їх інтензивність означає яркість світла, частість — закрутку світла, а скорість — дорогу, яку переходить світло. Коли ми цю теорію, як вище, представимо в формі твердження й словаря, то дістанемо такі форми.

Твердження. Світло складається із дрозань хвиль, що розходяться в прозорій атмосфері. Частість даних дрозань лишається цілий час сталою. Скорість хвилі залежить від роду середовища (окруження) й частоти; в середовищі *A* дрозання частоти *b* розходиться із скорістю *c* (де *A*, *b*, *c* — дані означені поняття) і т. д., доки не будуть перелічені всі скорости для всіх довжин хвиль у всіх середовищах.

Словар. Коли ми говоримо, що дрозання світла доходить до простору, захопленого оком, то розуміємо під тим, що бачимо світло. Коли-ж говоримо, що дрозання має частість *b*, то розуміємо під тим, що бачимо краску *B* і т. д.

Із того твердження й словаря можна виводити закони, щоби їх потім провіряти досвідом. Ви-

явилося, що майже завжди дістається вдовольнуючу згідність. Теорія світла правдоподібно докладніше розвинена, ніж яка небудь иньша фізична теорія.

Таким способом головним поняттям в теорії світла являється поняття про світло; коли бажаємо, мати електричну теорію світла, мусимо виказати, що те поняття дасться пристосувати до теорії електричності. На перший погляд видається очевидним, що його можна пристосувати до теорії електричних течей, бо вона оперує субстанцією, до певної міри схожою з водою, по котрій можуть розходитися хвилі. На нещастя ця теорія недопускає, приймати існування електричності там, де нема наряджених тіл, або тіл, що можуть бути наряджені; по тій теорії в порожні нема електричності, котра могла-б переносити хвилі, а тимчасом хвилі світла розходяться і в порожнечі. Стара теорія електричності розглядає порожню, як абсолютно позбавлену чого небудь, і тому вона не може бути звязана з теорією світла.

34. *Електромагнетна теорія світла.* З другого боку теорія Фарадея не розглядає порожню, як абсолютно позбавлену чого небудь. По теорії Фарадея порожня прорізується лініями сил. Чи можуть одначе лінії сил передавати хвилі? Очевидно, можуть, хоч ті хвилі мусять бути в децим иньші від водних явищ. Ми розбираємо лінії сил як натягнені нитки, що посідають означене напруження здовж їх довжини й означену інерцію при рухові у напрямі прямовіснім до їхньої довжини. Оскільки розглядатимемо їх рух саме в тім напрямі, то лінію сил можна вповні порівняти із шнурком, натягненим між непорушним завісом і рукою¹⁾.

¹⁾ Ужиття слова «вповні» в цій фразі можна допустити і недопустити. Аналогія між шнурками й лініями сил містить у собі пункти, котрих тепер не можна підтримати на основі досвідів. Так шнурки майже всі різняються між со-

Коли швидко рухатимемо рукою на оба боки, прямовісно до довжини шнурка, то здовж него попливе ясно помітна хвиля. Свійства, які ми приписуємо лініям сил, доводять нас до виводу, що хвилі можуть поширюватися здовж них. Лишається ще, рішити питання, чи ті хвилі можна ідентифікувати з хвилями світла.

Вище приписали ми хвилям світла тільки три свійства: інтензивність, частоту й швидкість. Коли відношення між тими свійствами, вчислене для хвиль, що поширюються здовж лінії сил, завжди покривається із відношенням, яке знайдено експериментально для хвиль світла, то їх ідентифікування буде безсумніву правдиве. Швидкість, з якою хвилі мусять розпливатися здовж ліній сил, означається так само, як і при шнурку, їх тягненням і їхньою інерцією. Обі ті величини змінюються із зміною середовища, в котрім розложені лінії сил. Тягнення ліній сил можна зміряти при допомозі обсервацій над притяганням двох тіл, уміщених у середовищі, їхню інерцію — при допомозі обсервацій над явищами, описаними в § 25, що наступають при уміщенню дроту в середовищі. Таким способом для всякого середовища можна означити величину швидкості поширення хвиль здовж ліній сил.

Порівнюючи висліди, що випливають звідси, з досвідом, знаходимо в одних випадках згідність, а

бою й дрожання розходиться по шнурку завжди в однім напрямі, не викликаючи рухів у других напрямках. У випадку світла можливо, що не можна розглядати кожную лінію сил окремо, бо дрожання, яке повстало в якійсь точці, розходиться однаково в усіх напрямках. Найліпшою аналогією до розходження дрожань із джерела світла являється розбігання хвиль, викликаних ударом каменя в воду; менше вдаття аналогія із розходженням дрожання шнурка, який колишуть в одного його кінця. Докладно це питання не можна розібрати, не відсилаючися до проблемів, що тепер дають привід до оживлених спорів.

в других — незгоду. В порожнечі, в повітрі і в інших газах швидкість поширення хвиль здовж ліній сил дуже точно сходиться з швидкістю поширення світла. З другого боку наша теорія вимагає однакої швидкості поширення хвиль всяких частот у прозорих середовищах; в дійсності-ж швидкість поширення світла в таких середовищах змінюється значно, в залежності від частот. Тільки при дуже малих частотах висліди теорій годяться із досвідом. Не можемо тут входити в подрібний розбір питання й спинитися на вказівках, яким способом при дальшій розвитку науки ця незгідність не тільки була прояснена, але навіть дала привід до багатьох цінних вислідів.

Доволі вказати тут, що це в дійсності прояснено, та що електромагнетна теорія світла тепер загальною признана й дає основу всім оптичним теоріям. Майже цілий поступ теоретичної оптики в останні часи був викликаний саме розвитком цієї теорії.

РОЗДІЛ V.

Теорія Максвелла.

35. *Історичні замітки.* Коли-б мою одинокою метою було пояснення природи прийнятих електричних теорій, то до вище вилжених ідей Фарадея не прийшлося-б нам багато додати. Однак не можна цілком зігнорувати історію розвитку науки. Не можна обмежуватися вказівкою на те, що розвиток творчої гадки довів науку до електромагнетної теорії світла, не сказавши цілком нічого про методи, якими збудовано цю теорію. Тим висказали-б ми легковаження одному із найважливіших засобів в справі розслідувань фізики.

Фарадей сам дав тільки основний начерк теорії, яку ми вище описали. Він указав взагалі, що спіль-

ні черти електричного й магнетного ділання можна пояснити діланням нерухомих або рухомих ліній сил. Фарадей не був математиком і не впроваджував у свою теорію тих величин, котрими він користувався в своїх міркуваннях. Він здавав собі очевидно справу із того, що лінії сил стягаються в напрямі своєї довжини й зазнають відпихання в напрямі, прямих до їхньої довжини. Однак він не давав означення величин, основаних на тих замітках, і не старався, звязувати їх із змінними величинами, які були передше впроваджені старою електричною теорією. Він не вказав навіть на те, що лінії сил мусять мати інерцію. Поняття інерції ліній сил впровадив Дж. Дж. Томсон; в п'ятьдесят літ після виходу праці Фарадея й по 20-х літах після поставлення електромагнетної теорії світла він розвинув теорію Фарадея в тих границях, які вище зазначено, й показав, що вона доводить безпосередно до всіх тих вислідів, до котрих Мексуель дійшов иньшою дорогою.

Без означення величини тягнення по лініям сил і величини інерції тих ліній було неможливо, виразити наперед величину швидкості поширення дряжання здовж ліній сил. Через те Фарадей не мав змоги, піддати електромагнетну теорію світла провірці. До певної міри навіть дивно, що йому ніколи не прийшла на гадку ідея, що лінії сил можуть лежати в основі механізму передачі дряжань у середовищі. Це тим дивніше, що Фарадей був сильно переконаний, що можна повести звязь між оптичними й електричними явищами, й стратив багато часу на це, щоби дорогою досвіду виказати вплив магнетних і електричних сил на поширення світла в середовищі. Він справді відкрив подібне явище, однак воно не стало товчком для дальшого розвитку теорії. Противно, воно не годилося з електричною теорією до того часу, доки вона не пере-

мінилася в теперішню електронну теорію. Спільним своїством електричних і оптичних явищ, що вимагає усталення звязи між ними, являється здібність ділань обого роду розширюватися із порожнечі. Фарадей не здавав собі з цього справи.

Усі ці важні висліди, що безпосередно впливають із ідей Фарадея, здобув Мексуель, що перевищав Фарадея математичними здібностями настільки, оскільки Фарадей перевищав його фізичним чуттям. Але метода, якою Мексуель дійшов до цих вислідів, ріжниться цілковито від тої методи, яку ми начеркнули в попередних параграфах. Мексуель піддав розслідові величини, звязані з поняттями тягнення по лініям сил і тиснення в напрямі, прямо вісному до того. Одначе хоч він і перший поставив аналогію між електричним током і системою, що посідає інерцію, він не приписував інерції лініям сил. Він поясняв електростатичні явища, стоячи на точці погляду Фарадея, але при поясненню електромагнетних явищ він майже цілковито вернув до метод, що характеризують праці Ампера. Теорія, що привела його до електромагнетної теорії світла, хоч і розвивалася під впливом праці Фарадея, але логічно вона залежна від неї. Обі теорії ріжняться своєю основною природою. Теорія Фарадея була фізичною теорією, теорія Мексуеля — математична теорія. Тут мусимо трохи спинитися й розібрати коротко, що виявляє із себе математична теорія.

36. *Математичні теорії.* Ми бачили, що фізична теорія між иньшим виявляє із себе ряд тверджень, із котрих можуть бути виведені другі твердження (закони); логічно твердження теорії прямо еквівалентні законам, котрі вони мають пояснити, але відрізняються від них тим, що дають змогу, виводити иньші закони. З того погляду математична теорія дуже схожа з фізичною теорією: вона та-

кож складається із тверджень, що дозволяють виводити закони, і із неї можна також виводити закони, не передвиджені при ставленню теорії. Головна різниця між фізичною й математичною теоріями лежить у природі тверджень, що складаються на теорії, й понять, що їх впроваджують ці твердження.

Поняття, що містяться в фізичній теорії, появляються завсіді по аналогії з механічною системою, котрої ділання зближене до нашого досвіду. Поняття-ж математичної теорії мають ту саму природу, що й поняття чистої математики. У рамцях цієї невеликої книжечки неможливо описати природу тих понять так, щоби вповні пояснити питання читачу не-спеціалістові. Та з одним рядом тих понять, з поняттями о раціональних числах, знайомий кожний, хто вчився хоч-би поверхово аритметики. До тих понять, як і до багатьох інших понять чистої математики, можна пристосувати операції додавання і відімання. Існують і такі поняття в чистій математиці, до яких можна пристосувати не тільки ті операції, але також і інші, яких не можна пристосувати до раціональних чисел. Такі поняття заводяться у математику тою її частиною, яку називаємо диференціальними й інтегральними рахунками. Впровадження тих понять відріжнює сучасну математику від статичної математики.

Величини, які впроваджуються фізичними теоріями, аналогічні раціональним числам настільки, о скільки до них дадуться пристосувати операції, аналогічні до додавання й відімання й не дадуться пристосувати операції диференціального й інтегрального рахунків. Останні операції не-допускають до означення величин, до яких вони дадуться пристосувати, в термінах наших почувань, що являються основою цілої фізики. Через те не-

можливо, ставити научні закони, які містили-б у собі ті поняття, до котрих можуть бути пристосовані могутчі й розвинені методи сучасної математики. І коли-б нам прийшлося, покористуватись тими методами, то ми мусіли-б були впровадити в науку поняття, які не могли-б бути означені в термінах наших почувань — поняття, типові для теорій, але не для законів.

Це введення й виконується математичною теорією. Фізичні закони встановляють певні взаємні відношення між фізичними величинами. Так розбираючи магнетне ділання електричного току, маємо діло з ось такими величинами: сила току C , направляюча сила, що ділає на даний магнет H , різні довжини L , M , N , і т. д., які означають положення магнету що до току. Закон цього ділання каже, що, коли C має значіння c , а L , M , N мають значіння l , m , n , то H має значіння h , при чім c , l , m , n , h є означеними числами. Математична теорія заводить нові поняття. C^1, H^1, L^1, M^1, N^1 , до котрих дадуться пристосувати операції диференціального й інтегрального рахунку, й устанавляє нові звязи між тими поняттями. Ці нові звязи мусять бути такі, що їх можна логічно вивести із гадок, устанавляючих, що, коли C^1, L^1, M^1, N^1 мають значіння c, l, m, n , то H має значіння h . Всі ці гадки, що доводять до того висновку, творять математичну теорію. Належить завважати, що математична теорія, так само, як і фізична, може бути розділена на дві частині — твердження й словар; твердження уявляють із себе тільки що описані гадки, а словар складається із ряду гадок таких, як: кажучи, що значіння C^1 єсть c , тверджу тим самим, що значіння C є c . Це може видаватися недорічним утрудненням, та я запевняю читача, що багато непорозумінь виходило через легковаження тих признак.

Розбираючи методи, якими оперують математичні теорії, натрапляємо на труднощі, подібні до тих, які ми зазначили, коли говорилося про фізичні теорії. Все, що ми вкінці знаємо, не закони, котрі мусять впливати із теорій, при чім можливі всілякі теорії, що ведуть до тих самих законів. Як же зробити вибір між незліченими різними теоріями, що приводять до тих самих законів? Із кожної теорії можна випровадити не тільки ті закони, для пояснення котрих її потрібно, але також і багато інших; при тім теорія не досконала, коли ці незлічені інші закони не підтверджені обсерваціями. Цим то й твориться критерій для оцінки вартості теорії; одначе він не подає ніякої помочі в справі самого створення теорії.

Студіюючи важні математичні теорії, ми справді знаходимо, що вони відрізняються усіми признаками важних фізичних теорій. Вони не тільки з успіхом пояснюють старі закони й заповідають нові, але також заспокоюють естетичні інтелектуальні вимоги. Із багатьох можливих форм для головних математичних теорій вибрана їхня загально прийнята форма, очевидно наслідком її простоти й краси; вона визначається такими прикметами, які цілком не дадуться означити, але які притягаючо ділають на справжнього математика й таємничого на всякого иньшого чоловіка. Мусимо замітити, що твердження, які мають найбільше замітну силу, заповідати вірні закони, заспокоюють рівночасно й ці ірраціональні вимоги інтелекту, це стало зєднання двох дуже різних свійств робить теорії сильними, а справжнє знання — можливим.

Належить одначе зазначити одну основну різницю між фізичними й математичними теоріями. Ми бачили, що фізична теорія, незалежно від її зовнішнього вигляду простою логічного еквіва-

лента (рівноважника) законів, пояснюваних тією теорією, корисна нам тим, що вона нам піддає. Вивід із такої теорії яких небудь законів, котрі вона має пояснити, можуть зробити з успіхом тільки особи, обдаровані окремою научною інтуїцією; ця інтуїція дає великим фізикам змогу, робити виводи, які зближують нас до правди. При математичній теорії вивід нових законів здобувається і не завдяки геніяльності спеціально уталантованих осіб, а дорогою строго логічних дедуктивних процесів, доступних для кожного, хто розуміє математичні обчислення. Виводи, зроблені із фізичної теорії, сягнено методами, що можуть бути оцінені тільки невеликим числом людей, тоді, коли виводи із математичної теорії здобуваються методами, що їх може оцінити кожний, хто перейшов відповідний курс математики. Через те, що в кінці переконувати можна тільки на основі принципів, прийятих усіми, математична теорія завжди видається більш переконуючою, ніж фізична. Великі математичні теорії, як теорія тяготіння Ньютона або теорія електромагнетизму Ампера, ніколи не викликували сумнівів, коли тимчасом всяка фізична теорія за цілий час свого існування стрічалася із скептичним відношенням. Все-ж таки не треба думати, що фізичні теорії менше вартні, ніж математичні теорії, або що наука може розвиватися без помочі фізичних теорій. Логічна природа теорій обидвох родів і їх відношення до законів і основ науки однакові. Факт, що нові закони виводяться із них дорогою в часті різних процесів, не має в дійсності дуже великого значіння, тому що нові закони, які в обох випадках виводяться із теорій, повинні бути перевірені на досвіді перше того, чим їх признати за правдиві. Не можна приймати за правдиві без усякого дальшого розсліду виводи із електромагнетної теорії Ампера.

37. *Теорія Мексуеля.* Така то математична теорія й привела Мексуеля до його великого відкриття. Закони, які вона мала первісно пояснити, були закон магнетного ділання колового току й закон магнетної індукції току. Ці закони були сформульовані ще до Мексуеля й дві математичні теорії пояснили їх. Мексуель змінив ці теорії у двох напрямках. Запроваджуючи зміни першого роду, він робив це під впливом теорії Фарадея. По старій теорії в цілковитій порожнечі не міг існувати електричний ток, що викликав-би магнетичні ділання, бо такі ділання звязувалося доконче з добрими провідниками. По ідеям Фарадея активними чинниками являються рухомі лнії сил, що можуть рухатися далше, коли їхні кінці прикріплені. Через те електричний ток, що є джерелом магнетних ділань, може існувати і в цілковитій порожнечі. Виставляючи таку можливість у своїй теорії, Мексуель був без сумніву під впливом міркувань про математичну симетрію й простоту. Він впровадив у теорію одну електричну величину, котра може мати значіння навіть у порожні; зміни цієї величини звязані з магнетними діланнями. Мексуель вибрав ту величину в такий спосіб, що, допускаючи повставання всіх розсліджуваних ділань у порожнечі, твердження теорії, що пояснює закони магнетних ділань току, мають ту саму просту форму, як і твердження теорії, що поясняє повстання току наслідком зміни магнета. Одинокі різниці між двома рядами тверджень міститься в тім, що електричні величини в однім відповідають магнетним величинам у другому. Оба ряди тверджень цілком симетричні й цілком вдовольняють кожного, хто, подібно як Мексуель, має інтерес до чистої математики. Мексуель дістав таким чином два ряди тверджень, із котрих кожне давало взаїмні відношення між електричними величинами, магнетними величинами

й величинами, спільними для кожної науки, як довжина й час. Розсліджуючи опісля наслідки тих тверджень, Мексуель знайшов, що вони доводять до такого виводу: всяка зміна електричного або магнетного стану в якімсь місці простору після деякого означеного протягу часу появляється на иньшому місці. Цей протяг часу залежить від віддалення між двома місцями й електричних та магнетних свійств відділяючого їх середовища. Той самий вивід можна виразити і так: Дрожання поширюється з одного місця до другого із скорістю, яку означають електричні й магнетні свійства середовища. Коли ті свійства відомі й можуть бути стверджені досвідом, то вони означають і скорість поширення дрожань. Порівнюючи заповідження що до тієї скорості поширення дрожань з величиною скорості світла, можна дістати ті висновки, які наведені вище в § 34. Так повертала електромагнетна теорія світла; її не зараз усі признали, аж доки не зроблено в неї нових висновків і не порівнано їх з даними досвіду. Найбільші успіхи в тій області досягнув Герцен; вони й довели до загального признання теорії Мексуеля. Подрібніший розгляд цього питання завело-б нас за далеко. Я мав на меті тільки пояснити, як думає наука й як вона розвивається, а не описувати в подробицях дійсні висліди, які вона досягнула.

38. *Дальший розвиток.* При таких стані справи зробила наука про електричність ясний й виразний перелім. Стара наука тут кінчиться й починається нова, що зробила величезні поступи за останніх 15 літ і викликала революцію в наших поняттях про всі майже явища природи. Хоча зпочатку через довший час не досягнуто значніших успіхів, усе-ж таки передовим людям науки стало ясно, в якім напрямі розвинеться нова наука. Ми вказали вище, що електромагнетна теорія світла стоїть у

ділковитій і повній згоді зі всіми відомими фактами, оскільки вони відносяться до поширення світла в порожнечі. Вона виявляється недостаточною тільки тоді, коли розбираються оптичні й електричні свійства матеріальних тіл.

При блищім розсліді чисто електричних свійств матеріальних тіл подибуємо області, для яких не годиться ані одна із до тепер подавлених теорій. Деякі такі області ми вже згадали попереду. Гостра різниця, яку в електростатиці робиться між добрими й злими провідниками, зникає при докладнішій розсліді питання, бо показується, що всі тіла до певної міри можна рівночасно зачислити до обох клас. При тім показується трудність, погодити наше пояснення викликання наряду через індукцію, допускаючи неможливість руху електричності в злих провідниках. Число подібних прикладів можна збільшити майже в безконечність: очевидно, що для викінчення теорії треба звертати більшу увагу на різницю й схожості різних матерій у відношенню до електричних величин. До цих пір ми розглядали матеріальні тіла, як такі, що легко змінюють електричні свійства порожнечі, яку вони виповнюють. Однак ми не робили ніякої спроби, установити звязь між електричними свійствами тіл і иньшими їх свійствами, або дати фізичну теорію тих свійств. А саме в тім напрямі повинні-б звертатися й робитися далші студії. В термінах старшої теорії електричності питання ставиться так: як розділені в середині ненарядженого тіла ці рівні скількості різноіменних електричностей, яких існування приймається в ненаряджених тілах і яке взаємне відношення між тими нарядами й атомами або молекулами, із котрих зложене тіло? В такій саме формі ставилося питання тоді, коли явилися перші вказівки на можливість його рішення. Теорія ще раз показала більше вартною своїми недостачами,

ніж позитивними припметами. Закони, правильно передвижені теорією Мексуеля, можна вважати завершенням *старої* науки про електричність. Закони, заповіджені нею хибно, викликали виставлення *нового* научного будинку.

Зміст.

Передмова автора	стр- 3
Розділ I. Закони й теорія електростатичних явищ	5
Розділ II. Електричні поміри	28
Розділ III. Електромагнетизм	43
Розділ IV. Теорія Фарадея	57
Розділ V. Теорія Максвелла	73

Друкарня Шпамера, Лейпциг.