
ЮВІЛЕЇ І ДАТИ

Його називають «титаном Відродження». Митець, вчений, інженер, він залишив світові безсмертні твори живопису і геніальні архітектурні проекти, винайшов безліч приладів, механізмів і машин, сформулював чимало теоретичних принципів. Леонардо да Вінчі не просто яскравий представник своєї доби, він один з її творців. Ми, сьогоднішні, не можемо уявити собі Ренесанс без усього того, що зроблено ним. Зокрема, дослідження вченого в галузі механіки визначили напрями розвитку цієї науки на наступні віки. Саме цій, можливо, найменш вивченій складовій творчості Леонардо да Вінчі присвячена книга відомого історика науки середини минулого століття М.О. Гуковського (Гуковский М.А. «Механика Леонардо да Винчи», М.—Л., Изд-во АН СССР, 1947), окремі розділи якої пропонуються увазі читачів. Українською мовою друкується вперше.

М. ГУКОВСЬКИЙ

СИСТЕМА МЕХАНІКИ ЛЕОНАРДО

До 550-річчя від дня народження Леонардо да Вінчі

Наука, зокрема механіка, доби Відродження зробила перші кроки, намагаючись порвати лінію наукової традиції і звертаючись безпосередньо до досвіду, відмовляючись від складного мережива аксіом та доказів.

Одним із найуніверсальніших представників універсальної епохи Відродження став геніально обдарований син нотаріуса із Вінчі — Леонардо. У ньому дивовижно поєдналися виняткова, властива лише найбільшим художникам, чутливість, здатність уловлювати ритм часу з безмежною жадобою пізнання. Це робило Леонардо ніби фокусом, в якому сконцентрувалися всі художні, наукові і технічні сподівання його часу.

Тому цілком природно, що в точних науках загалом і зокрема в механіці, яка перебувала на зламі, Леонардо мав сказати своє нове слово. Реформа механіки назріла, потрібні були тільки люди, які б могли її здійснити, і одним із перших та найталановитіших таких людей став художник із Вінчі.

Леонардо займався механікою впродовж усього свого життя, тому, зрозуміло, що рукописи його переповнені записами з механіки. Найповніше ця наука представлена у трьох рукописах: в «Атлантичному кодексі», у так званому «Кодексі Арундель» і кодексі «Е» Паризької національної бібліотеки, хоча й інші рукописи, зокрема кодекси «А» та «С» Паризької національної бібліотеки, містять їх досить значну кількість. Загалом же всі нотатки, які прямо чи опосередковано стосуються механіки твердого тіла, без записів, що відносяться до гідро- та аеромеханіки, яких теж чимало, становлять приблизно 20—25 друкованих аркушів тексту. Механіка — галузь, якій присвячена, безумовно, найбільша кількість записів Леонардо. Звідси зрозуміло, що предмет цей був для нього основною науковою дисципліною, найважливішою і найактуальнішою.

Леонардо не закінчив жодної зі своїх наукових праць; не завершив (чи, може, завершив, але до нас він не дійшов) і свій улюблений твір — трактат про механіку. Окремі записи чи

групи записів, інколи пов'язані певною загальною темою, а частіше нею не пов'язані, розкидані на окремих аркушах рукописів дослідника у справжньому художньому безладі. Лише в дуже небагатьох місцях суцільний доладний виклад займає кілька сторінок поспіль. Назагал сторінка чи півсторінка з питаннями механіки чергується зі сторінкою чи півсторінкою з питаннями геометрії або оптики, записом алегорії, рахунком кухарки чи анекдотом, а потім знову — уривок з механіки. До того ж записи з механіки далеко не завжди завершені; дуже часто вони починаються трохи не із середини фрази, майже завжди записані недбало й абсолютно не оброблені, що цілком пояснено у працях чорнового характеру, які підлягають подальшому опрцюванню, систематизації і переписуванню начисто.

Та чи не найбільшою перепоною у реконструюванні істинної та повної системи поглядів Леонардо в галузі механіки є їхня хронологічна різноплановість і термінологічна непослідовність.

Упродовж життя Леонардо не раз змінював свої погляди під впливом розширення кола читання, повторення і поглиблення дослідів, порівняння підсумків, отриманих у процесі вирішення різних питань та при перевірці своїх висновків на практиці...

Однак необхідно спробувати реконструювати механіку Леонардо да Вінчі як цілісність і проаналізувати її як першу значну і вагому пам'ятку нової науки. Пам'ятка ця не збереглася у завершеному вигляді, з приводу чого, звісно, можна пошкодувати, зате вона дає змогу простежити сам процес становлення цієї науки, всі її багатоманітні зв'язки і зумовленості.

Подаючи методологічні основи наукових занять Леонардо, всі дослідники беруть зазвичай наріжним каменем висловлювання, записане на аркуші 96 v. кодексу «G»: «Немає впевненості там, де не можна застосувати одну із математичних наук або ж де немає зв'язку з цією математикою». І справді, вислів цей, якщо його зіставити з деякими іншими, менш яскравими, але не менш промовистими, на зразок перифразу сократівських слів: «Нехай мене не читає в основах моїх той, хто не є математиком», — з незаперечною ясністю показує, що Леонардо, як, зрештою, і багато його попередників у науці Відродження і в античній науці, вважав математику найнадійнішим шляхом досягнення точних і цілком об'єктивних наукових результатів.

Проте абсолютно неправильно було б вважати, нібито Леонардо визнавав лише абстрактну математику в нашому розумінні цього слова і що вся наука його була строго математичною.

Таке твердження було б помилковим у двох відношеннях: по-перше, під словом «математика» Леонардо розумів далеко не те, що розуміємо сьогодні ми. Математика для нього — поняття доволі розпливчате і не кристалізоване, яке охоплює передусім усе, що стосується підрахунку й вимірювання. По-друге, і це найважливіше, Леонардо завжди чітко розумів і нагадував, що справжня наука спирається на спостереження дійсності, на експеримент, математика ж — лише спосіб обробки цих спостережень та експериментів.

«Будь-яке наше знання починається із відчуттів,» — стверджує Леонардо і далі детально аналізує шляхи впливу зовнішнього світу на наші відчуття, завдяки чому створюються відомі враження, які потім і формують матеріал знань. Упорядковане, систематизоване чуттєве сприйняття явищ зовнішнього світу дає експеримент, який і має бути обов'язковим першим етапом пізнання. Це свідоме, неодноразове, настійне підкреслення необхідності, першочергової важливості експерименту, можливо, певною мірою помічене

в роботах найближчих попередників Леонардо, але в такому яскравому, означеному і чіткому вигляді є його власним досягненням, результатом тривалої, наполегливої, самостійної і звитяжної наукової праці. Дослід — єдиний абсолютно надійний критерій при закладенні фундаменту будь-якої наукової теорії.

«Дослід ніколи не помиляється, помиляються лише наші судження, обіцяючи собі від нього такі речі, які йому не до снаги. Дарма люди скаржаться на дослід, звинувачуючи (con somme ragione) його в оманливості. Нехай вони дадуть спокій досліді і звернуть нарікання на власне невігластво, яке примушує їх долучати свої пусті бажання і вимагати від досліді того, на що він не спроможний».

І далі: «Дослід ніколи не помиляється, помиляються лише наші судження, очікуючи таких результатів, яких не досягнути нашими експериментами. Якщо є підстава, то потрібно, щоб те, що з неї випливає, було справжнім наслідком цієї підстави, якщо нічого тому не протидіє. Коли ж існує якась протидія, то результат, котрий має випливати з цієї підстави, тим більше чи менше запозичує з цієї підстави, чим ця протидія сильніша чи слабша за вказану підставу».

Розв'язуючи одну з основних механічних задач, він каже:

«Визначимо природу складних ваг як у колових вагах (тобто шківих і колесих), так і в прямолінійних. Але перш ніж я піду далі, я здійснию деякі досліді, оскільки я маю намір спершу описати дослід, а потім уже доводити міркуваннями розуму (colla ragione), чому даний експеримент повинен відбуватися саме так, і що це є істинним методом (la vera regola), який мають наслідувати ті, хто розмірковує з приводу природничих наук. І хоча природа починає в розумі і закінчує у досліді, нам слід іти зворотним шляхом, тобто, починаючи з досліді, з його допомогою шукати розумне пояснення (la ragione)».

Дослід, таким чином, на думку Леонардо, виявляє розумну основу, раціональні закономірності природи, які спостерігачем розкриваються саме і лише за його допомогою, а потім уже формулюються у загальному вигляді. Цим і пояснюється протилежність природи і людського мислення: природа іде від закономірності до окремого її прояву, наукове мислення, навпаки, — від спостереження низки окремих виявів до формулювання загального закону.

Проголошуючи примат, безпомилковість експерименту як методу наукового пізнання, Леонардо зовсім не стає на позицію голого емпіризму. Перше, від чого він застерігає, — це небезпека широких висновків із недостатньо повторених чи узагальнених експериментів.

«Перш ніж ти виведеш із цього окремого випадку загальний закон, повтори дослід два чи три рази і подивися, чи викликають завжди одні й ті самі експерименти однакові наслідки».

Дослід, навіть повторений багаторазово і доведений до повної безсумнівності, не дає ще остаточних наукових результатів. Якби це було так, наука була б дуже простою і нецікавою. На основі серії дослідів має бути виведене загальне положення, закон, який повністю ґрунтується на цих дослідіх і, не обмежуючись їх описом, додає якоесь спільне причинове пояснення до послідовності явищ, констатованих експериментом.

Для створення із результатів строгих, неодноразово повторених експериментів загальних положень і законів найбільш правильним і надійним шляхом є математика чи, точніше,

математичний метод. Але і на формулюванні спільних законів наукова діяльність справжнього вченого не закінчується. Закони ці були б абсолютно не потрібні, якби вони не приносили людству корисних результатів: практичного, насамперед технічного, застосування, що є водночас і способом їх перевірки. Дисципліною ж чи, точніше, однією з дисциплін, які мають на меті саме використання загальних математичних законів у технічній практиці, є механіка.

«Механіка — це рай математичних наук, оскільки з її допомогою досягається плід математики».

Таким чином, механіка як найпотрібніша і найцінніша галузь точних наук починається з експерименту, котрий використовує сприйняття відчуттів, проходить через математичні докази, що надають їй незаперечності, і закінчується у практичній діяльності, яка є для неї виправданням і перевірковою інстанцією. Положення це надзвичайно чітко виражене у першій книзі «Трактату про живопис», де сказано: «Але мені здається, що ті науки пусті і сповнені помилок, які не породжені дослідом, матір'ю будь-якої безсумнівності (*certezza*), і які не завершуються у досліді, тобто такі, початок, чи середина, чи кінець яких не проходить через хоча б одне з п'яти відчуттів».

Практичне спрямування спеціально механічних студій підкреслене в «Атлантичному кодексі»:

«Якби ти мені сказав: що породжують твої правила і для чого вони потрібні? — я тобі відповідаю, що вони дають узду інженерам та винахідникам (*investigatori*) для того, щоб вони не дозволяли собі обіцяти самим собі чи іншим неможливі речі, внаслідок чого їх вважатимуть божевільними чи брехунами».

Це місце винятково важливе для розуміння підходу Леонардо до науки загалом і до механіки зокрема. Для нього наука — потужний, необхідний, основний фактор технічної діяльності. Він недвозначно стверджує, що «той, хто залюблений у практику без науки, подібний до корабельника, який входить на судно без стерна чи компаса, а тому ніколи не знає напевне, куди пливатиме. Практика має завжди базуватися на хорошій теорії».

Нова точка зору на природу, яка зріла у науці Відродження під впливом нових соціальних умов (виникнення на історичній арені нових класових сил, народження і швидкий розвиток нової техніки), різко відрізнялася від усього, що знали античність і особливо феодалізм. У науковій спадщині Леонардо — оригінала, дивака, руйнівника традицій — така точка зору набуває вперше цілком чіткої, ясної форми — це майже маніфест, який можна помістити на першій сторінці книги розвитку нової науки, науки Галілея і Ньютона.

Як же реалізовував Леонардо у своїй конкретній науковій роботі в галузі механіки ті завдання, які він ставив перед усією наукою? Як він проводив свої дослідження і як хотів побудувати механіку, сприймаючи її як дещо цілісне (оскільки він цього, безперечно, хотів)?

Перша стадія наукової роботи Леонардо — це спостереження за тими чи іншими явищами природи. У точній відповідності до своїх теоретичних переконань, які є, вочевидь, лише порівняно пізнім формулюванням уже усталених навичок, Леонардо ходить вулицями і майданами міст, дворами та залами палаців і замків, полями та лісами, по майстернях і крамницях з метою спостерігати усе незвичне і дивовижне. Але, як відомо, посилена, зосереджена увага має властивість рішуче змінювати критерії незвичного. Завдяки

близькому та уважному розгляданню найтривіальніші речі починають здаватися гідними подиву. Леонардо спостерігає за обертанням колеса і падінням м'яча під час гри, за зміною центру ваги бійця на списовому турнірі — джострі, обвалом шматка фортечної стіни і прийомами, застосовуваними ремісниками-будівельниками для підймання вантажів, і за способами зважування товарів купцями, які не пропускають нагоди ошукати покупця. Всі ці спостереження, інколи майже мимовільні, інколи тривалі і складні, він занотовує у своїх дорожніх записниках, які висять у нього на поясі.



Аркуш з «Античного кодексу», де описані досліди з навантаженням, яке балка передає на опори

Потім, повернувшись додому, того ж дня, а нерідко через кілька днів, тижнів, а то й місяців, він продивляється побіжні нотатки. Деякі задовольняють його — записи повні і зрозумілі; деякі виявляються недостатніми, і він занотовує у свої домашні зошити нагадування про повторні спостереження — на зразок: «зверни увагу на згини суглобів і як росте на них м'ясо». У тих випадках, коли спостереження викладене задовільно, Леонардо починає розмірковувати з приводу нього, записуючи результати своїх роздумів без особливого порядку, так, як вони спадають на думку, до тих же своїх домашніх зошитів. Він пригадує, в яких із прочитаних ним книг є пояснення відповідних явищ і в яких книгах із тих, котрі він не читав, вони можуть бути; розшукує ці книги чи на своїх, далеко не багатих полицях, чи, частіше, у своїх друзів або знайомих, у знайомих своїх знайомих, у книготорговців. Добувши книгу, він порівнює те, що у ній написано, зі своїми спостереженнями і зазначає розбіжності, а потім, якщо явище здається йому важливим і таким, що заслуговує на серйозне вивчення, він здійснює низку послідовних експериментів для спостереження його з усіх боків. Ці систематичні досліди — одна з основних особливостей наукового методу Леонардо.

У зошитах Леонардо так багато записів про здійснення дослідів, і всі вони настільки конкретні, що не підлягає сумніву: вони насправді відбувалися і ми маємо справу з експериментуванням у сучасному сенсі цього слова.

Сама техніка проведення дослідів не завжди відображена у здебільшого дуже лаконічних записах, але інколи ми все-таки можемо розгледіти її досить добре. Доволі характерний, наприклад, аркуш 268 v. b. «Атлантичного кодексу», фотографію якого ми тут наводимо. На цьому аркуші, безперечно, описано серію доволі простих, але систематично здійснюваних дослідів із навантаженням, яке горизонтально покладена балка передає на дві опори. У тексті на аркуші сказано:

«Кожна має дев'яту частину; відними одну з них від голови, й остання матиме 49, а протилежна розвантажується. Далі я не веду мови, оскільки цей тонкий предмет потребує пильнішого розгляду і довгих роздумів».

Низка інших дослідів описана Леонардо у нотатках, що стосуються визначення швидкостей падіння тіл різної ваги і різної форми, вивчення удару куль та інших питань.

На базі повторних дослідів, послідовно дотримуючись своїх теоретичних настанов, викладених вище, Леонардо за допомогою математичних і, передусім, геометричних та арифметичних міркувань намагається підійти до побудови загальних законів.

Він не лише теоретично вважав за необхідне йти від експерименту до загальних правил чи законів (*regole*), а й фактично багаторазово формулював їх. Занотовував він їх у домашні чернетки, куди переносив із дорожніх записників результати спостережень і де фіксував дані дослідів і окремі елементи математичних доказів; тому не надто часті загальні формулювання попадають у значно багатшому матеріалі обґрунтувань. Саме ця багатоплановість основних робочих зошитів Леонардо, співіснування у них записів різних стадій роботи дослідника, особливо ускладнює розуміння і реконструювання як техніки, так і результатів цієї роботи.

Леонардо розглядав свої робочі зошити як допоміжний проміжний етап, як другий щабель на шляху від спостереження за повсякденними фактами до формування науки як цілісності. Після записів у цих зошитах він планував провести свої наукові пошуки, зокрема в галузі механіки, ще через дві стадії. Він сподівався спочатку перенести в окремі зошити, без особливого порядку всередині них, усі записи, які стосуються кожної окремої дисципліни. Такі зведення ми маємо, наприклад, із гідромеханіки у так званому «Кодексі Лейчестер», з оптики у кодексі «С» і з механіки на початку «Кодексу Арундель». Нарешті, останньою стадією роботи мала бути систематизація матеріалу вже у межах кожної наукової спеціальності. Чи довів Леонардо хоч одну з них до цієї стадії, ми не знаємо. Жодного навіть більш-менш значного уривка такого впорядкованого типу до наших часів не збереглося. Проте безперечним є те, що він підійшов упритул до такої систематизації, свідченням чого є збережені в його записах плани розташування матеріалу у низці задуманих галузевих монографій. А що план роботи Леонардо був саме таким, ми знаємо із широко відомих перших рядків «Кодексу Арундель»:

«Розпочата у Флоренції, в домі П'єро ді Браччіо Мартеллі, дня 22 березня 1508 р., і буде ця збірка без порядку, виведена з багатьох записів (*carte*), котрі й написав (списав—*scopiate*), сподіваючись потім упорядкувати їх як належить, відповідно до тем, які вони трактують».

Цей запис не лише змальовує нам усю складну техніку роботи Леонардо, а й промовисто свідчить про те, що на початку «Кодексу Арундель» ми маємо вже третю стадію його наукової роботи — тематичне, але ще безладне виписування з робочих зошитів другої стадії, і до того ж виписування, присвячене саме питанням механіки. Зміст кодексу цілком підтверджує це.

Таким чином, реальна техніка наукової праці Леонардо загалом відповідала його методологічним теоріям. Навряд чи буде помилковим твердження, що ця техніка була глибоко новою, не менш новою, аніж його методологія. Учений-майстер, учений-технік, учений-художник, наділений парою вправних рук, він звик проводити свою теоретичну роботу, повсякчас маючи в полі зору кінцеву практичну мету.

На момент розквіту наукової діяльності Леонардо механіка явно і безперечно підійшла до якогось перелому. Нова соціальна та економічна обстановка владно диктувала необхідність її докорінного оновлення, а в особі художника Леонардо із Вінчі постала людина, яка могла і покликана була спробувати здійснити це оновлення. Усіма цими обставинами й визначається, повністю чи принаймні в основних рисах, система механіки Леонардо. Дійшовши до нас у сотнях розрізнених аркушів, у тисячах не зведених в одне записів, вона має єдине спрямування і підпорядковується єдиному творчому задуму. Та водночас вона складена з різноманітних і ще не повністю переплавлених елементів, окремі її частини по-різному розроблені і доведені до різного ступеня довершеності. Вся вона є водночас і цілісною, і вкрай фрагментарною.

У своїх окремих формулюваннях, висновках і доказах у галузі механіки Леонардо нерідко впритул підходить до формулювань, висновків і доказів, які ввійшли в науку через десятиліття після її створення, а іноді й випереджає їх. Досить назвати прообраз закону Ньютона у вченні Леонардо про дію і протидію; правильне визначення натягу нитки, прикріпленої за два кінці; частково правильне визначення опорних реакцій косо поставленого стержня; надзвичайно сміливу постановку питань опору матеріалів і деталей машин і, нарешті, абсолютно неймовірне як для XV ст. трактування проблеми тертя, яке випредило досягнення механіки, «дорослішої» на два століття. Навіть ці окремі, інколи просто неймовірні, успіхи Леонардо могли забезпечити своєму творцеві почесне місце в науці. Проте не вони є головним у творчості художника, тим, що заслуговує на найбільшу увагу. Найважливішим є власне його метод — новий, який революціонізував науку, стрімко й рішуче спрямував її на нові шляхи, котрими прямує вона й сьогодні.

Леонардо, як жоден з учених-попередників, намагався єдиним титанічним зусиллям охопити всі питання в галузі механіки, які будь-коли поставали перед цією наукою. Він ретельно вивчав і використовував увесь збережений на той час науковий спадок, і зумів не просто передати його, а радикально переробити, переорієнтувавши на актуальні, нагальні потреби своєї епохи — епохи щонайглибших соціальних змін і зрушень. У цьому гігантському охопленні тем і матеріалу та в радикальній новизні підходу до нього полягають усі сильні і всі слабкі сторони механіки Леонардо. Зрозумівши в процесі творчої технічної роботи, що без належної теоретичної бази техніка не може бути зрушена з місця, Леонардо підсумовує все, що в галузі технічної теорії (а такою є насамперед механіка) було створено до нього. Потім він піддає перевірці всю масу доволі гетерогенних доказів і законів за допомогою експерименту, бо лише так можна гарантувати абсолютну правильність цих доказів і законів, правильність не формально логічну, а істинну, яка дає змогу за допомогою отриманих формул і законів будувати арки та склепіння, підіймати вантажі, стріляти з гармат.

У процесі цієї перевірки Леонардо, безперечно, першим з учених виробляє той експериментальний метод, який згодом стає основоположним у подальшому розвитку науки. Він першим вибудовує всю свою наукову систему з орієнтацією на технічну практику — останню перевірку інстанцію будь-якої його наукової побудови. Така радикальна переорієнтація механіки, реформування її згори донизу неминуче і, можна сказати, стихійно наштовхує Леонардо на постановки нових питань, постановки, невластиві усій попередній механіці, і на правильні чи майже правильні розв'язки задач.

Водночас ця масштабність і радикальність проведеної Леонардо реформи зумовила і слабкі сторони його механіки. Майже незорий її обшир робить фізично неможливим завершення початої вже всередині життя гігантської роботи. Потреба ж зберігати у кожному окремому питанні й у кожній групі питань постійний і тісний зв'язок із дослідом, з фізичною реальністю, з технічною практикою визначає формально-математичну помилковість низки суджень Леонардо, який, очевидно, загалом за природою своєю не мав великої схильності до абстрактно-математичних побудов.

Однак окремі вади механіки Леонардо — фрагментарність і математична недосконалість— жодною мірою не применшують її значення. Попри них, а у певному розумінні саме завдяки їм, вона є першим творінням нової науки, яка міцно пов'язала свою долю з практикою. Ця наука не лише пояснює світ, а й робить першу, ще несміливу і незграбну спробу перетворити його. І саме ця риса механіки Леонардо да Вінчі, флорентійського художника, техника і вченого, геніального дивака і невдахи, підносить її вище рівня окремого, часткового, хоча й доволі важливого явища, — вона надає їй особливої принципової значущості і симптоматичності. Механіка ця є лише одним із проявів загального перелому в науці у XV—XVII ст. Аналіз її дає можливість зазирнути у сам механізм творення нового етапу її розвитку — етапу, з якого виростає власне сучасна наука.