

Частина II

# **ЯК НАВЧАЄТЬСЯ МОЗОК**

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

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

**П**рирода чи виховання? Це протистояння точилося тисячоліттями. Немовлят порівнювали із чистим аркушем і порожньою пляшкою, що потім будуть наповнені досвідом. Однак ще у IV столітті до нашої ери Платон у «Державі» відкинув думку, що ми приходимо у світ, позбавлені будь-яких знань. Він писав, що кожна душа з народження має два складні механізми: силу знань і орган, який відповідає за навчання.

Ми побачили, як через дві тисячі років украй схожий висновок визрів з досягнень у машинному навчанні. Машини вчаться набагато ефективніше, одягнувши подвійний обладунок: набір ментальних моделей з мільйонами змінних параметрів, що створює колосальний простір для гіпотез, і тонкі алгоритми, що регулюють їх відповідно до інформації із зовнішнього світу. Мій приятель якось сказав, що, протиставляючи природу і виховання, ми недооцінювали обох! Навчання потребує двох компонентів: нескінченної кількості потенційних моделей та ефективного способу припасувати їх до реальності.

Штучні нейронні мережі торують свій шлях, поклавши представлення ментальної моделі на мільйони регульованих з'єднань. І хоч цим системам далось швидке й неусвідомлене розпізнавання зображень або мовлення, вони поки що не здатні схопити більш абстрактні гіпотези на зразок граматичних правил чи логіки математичних операцій.

Людський мозок працює по-іншому: наші знання виростають із комбінування символів. Це означає, що ми народжуємося з неймовірною кількістю потенційних думок. Коли настає мить першого навчального епізоду, мова мислення з узагальненими припущеннями і власною граматиною вже давно живе в голові немовляти.

Вона генерує гіпотези, які потім проходять перевірку. Згідно з байєсівською теорією, на цьому етапі мозок діє як науковець: збирає статистичну інформацію й опирається на неї у виборі найбільш вдалої моделі.

Такий погляд на навчання може здатися контрінтуїтивним. Виходить, що мозок кожного немовляти потенційно вміщає у себе всі мови світу, всі об'єкти, всі обличчя, всі знаряддя, які трапляються на його шляху, а ще всі слова, всі факти і всі події, які залишаються у пам'яті. Комбінаторна природа мозку означає, що в ньому закладені ці об'єкти мислення, їхні апіорні ймовірності, а також здатність оновлювати значення останніх, коли цього вимагає досвід. Невже немовлята і справді так навчаються?

### 3 Невидима мудрість немовлят

**Н**а перший погляд, про кого ще сказати, що він нічого не знає, якщо не про немовля? Хіба не природно, як пропонував Локк, вважати розум новонародженого чистою дошкою, на якій світ залишить свої сліди? У трактаті «Еміль, або Про виховання» Жан-Жак Руссо (1712–1778) наголошував: «Ми народжуємося без знань, без розуміння, але з даром учитися». Через два століття батько сучасних комп'ютерних наук Алан Тюрінг також підтримав цю гіпотезу: «Імовірно, мозок дитини схожий на придбаний у папірні блокнот. Невеличке приладдя, у якому багато чистих аркушів».

Тепер ми розуміємо, наскільки цей підхід далекий від правди. Очевидне буває оманливим. У незрілому мозку немовляти зачаїлася мудрість, успадкована в перебігу еволюційної історії. Здебільшого ці знання залишаються невидимими, бо ніяк не проявляються в примітивній поведінці новонароджених. Ученим-когнітивістам знадобилися неабияка винахідливість і передові методи, аби кинути світло на численні вміння малюків. Об'єкти, числа, ймовірності, обличчя, мова... це далеко не повний перелік вроджених здібностей немовлят.

#### Поняття об'єкта

Усі ми інтуїтивно розуміємо, що світ складається з твердих об'єктів. Насправді він побудований з атомів, але в масштабі нашого життя атоми об'єднані в більші сутності, що рухаються як єдиний шматок і, навіть стикаючись, не завжди втрачають цілісність... Ці великі згустки атомів люди називають *об'єктами*. Існування об'єктів — невід'ємна характеристика нашого світу. Чи потрібно

нам її вивчати? Ні. За мільйони років еволюція закарбувала це розуміння глибоко в людському мозку. Кількамісячна дитина вже знає, що її оточують об'єкти, які цілісно рухаються, займають частину простору, не зникають без причини і не можуть бути у двох місцях одночасно<sup>38</sup>. У якомусь сенсі мозок немовлят уже розуміє закони фізики: вони очікують, що об'єкт рухатиметься по безперервній у часі й просторі траєкторії, не буде зненацька стрибати чи зникати.

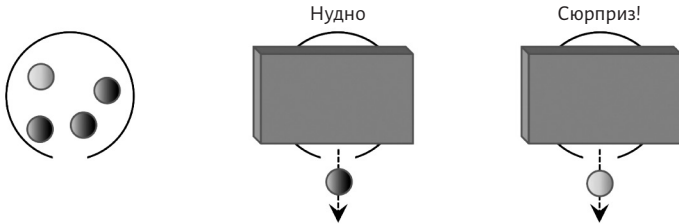
Звідки ми це знаємо? Тому що на експериментальні ситуації, які порушують фізичні закони, немовлята реагують подивом. У сучасних лабораторіях когнітивісти перетворилися на чародіїв. У розроблених спеціально для немовлят мінітеатрах вони показують різноманітні фокуси: об'єкти на сцені з'являються, зникають, подвоюються, проходять крізь стіни... Приховані камери відстежують погляди малюків, і результат однозначний: навіть кількатижневі немовлята чутливі до магії. Вони мають достатньо інтуїтивних знань про фізичний світ, щоб недодержання його законів приголомшувало їх не менше, ніж дорослих. Дослідники збільшують зображення дитячих очей, визначають куди і як довго вони вдивлялися, щоб точно виміряти силу здивування і висувати, що немовлята очікували побачити.

Заховайте предмет за книжку, а тоді раптом лясніть нею об стіл, так наче ніякого предмета вже не існує (насправді він викотився через таємні дверцята) — немовлята ошелешені! Вони не можуть збагнути, з якої радості твердий об'єкт розчинився у повітрі. Малюків дивує, коли предмет зникає за однією ширмою і з'являється з-за іншої, не перетнувши проміжку між ними. І просто приголомшує, коли іграшковий поїзд без проблем проїжджає крізь суцільну стіну. А ще вони мають поняття про цілісність об'єктів, і коли два кінці палиці злагоджено рухаються з різних боків ширми, малюк очікує побачити одну суцільну палицю, а не дві окремі (див. нижче). Шок!

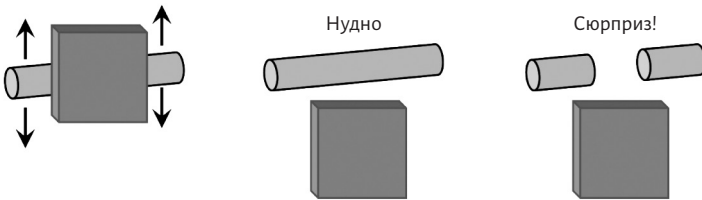
Так, немовлята знають про світ багато, але далеко не все. Минає кілька місяців, перш ніж вони зрозуміють, як один об'єкт може бути опорою для іншого<sup>39</sup>. Спершу малюки не в курсі, що предмет упаде, коли його відпустити. Але із часом починають усвідомлювати, які чинники змушують об'єкт повалитися, а які — стояти. Спочатку немовлята розуміють, що предмети падають, утративши

опору, але припускають, що нею слугує будь-який контакт з іншою поверхнею. І, наприклад, прикладають іграшку до торця стола. Після довгої низки спроб вони усвідомлюють, що просто торкатися стола — мало, потрібно, щоб іграшка була над, а не під ним. Але це не все, і ще декілька місяців знадобиться, щоб збагнути: вистачить, щоб на столі був не весь предмет, а тільки його центр мас.

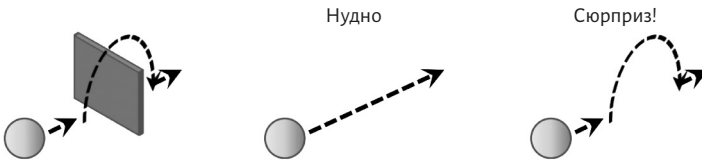
#### Інтуїтивне розуміння чисел і ймовірностей:



#### Інтуїтивне розуміння об'єктів:



#### Інтуїтивне розуміння психології:



З дуже раннього віку немовлята мають інтуїтивні знання з арифметики, фізики і навіть психології. Щоб виявити їх, дослідники показують малюкам очікувані й несподівані сценки і замірюють тривалість погляду (здивована дитина дивиться довше). Коли в коробці багато чорних кульок, немовлята дивуються, побачивши білу (інтуїтивне розуміння чисел і ймовірностей). Якщо виявиться, що злагоджено рухалися дві окремі палиці, а не одна — вау (інтуїтивне розуміння об'єктів). Побачивши м'ячик, який самостійно рухається і перестрибує стіну на своєму шляху, немовлята сприймають його як живу істоту з власними намірами і дивуються, коли він продовжує стрибати, подолавши перешкоду (інтуїтивне розуміння психології).

Згадайте про це, коли ваша дитина всоте скине ложку зі столика, і не впадайте в розпач: вона просто експериментує! Немовлятам,

як і вченим, потрібні цілі серії спроб, щоб по черзі відсіяти помилкові теорії: 1) об'єкти стоять у повітрі; 2) щоб не впасти, вони повинні торкатися іншого об'єкта; 3) щоб не впасти, вони повинні бути на іншому об'єкті; 4) щоб не впасти, більша частина їхнього об'єму повинна бути на іншому об'єкті і так далі.

Цей дослідницький підхід не зникає навіть у дорослому віці. Нас чарують предмети, які долають звичні закони фізики (гелієві кульки, незвичайні мобілі, іванці-киванці зі зміщеним центром мас...), тішать виступи ілюзіоністів, зниклі кролики й розпиляні дівчата. Вони так ваблять, бо порушують очікування, закладені еволюцією і закріплені у перший рік нашого життя. Професор МТІ, експерт зі штучного інтелекту й когнітивних наук Джош Тененбаум вважає, що в мозку немовлят працює ігровий рушій — металевий симулятор стандартної поведінки об'єктів на зразок того, що використовується у відеоіграх. Діти прокручують симуляції в голові, зіставляють їх з реальністю і таким чином з раннього віку визначають можливе і ймовірне в навколишньому світі.

### Чуття чисел

Візьмімо другий приклад — арифметику. Очевидно ж, що новонароджені нічого не тямлять у математиці. Але ні, від 1980-х численні експерименти свідчать про протилежне<sup>40</sup>. У першому досліді немовлятам багато разів поспіль демонструють слайди з двома об'єктами. Через якийсь час їм стає нудно... доки не з'явиться картинка з трьома об'єктами. Вони довше роздивляються нове зображення, а отже, помічають різницю. Змінюючи природу, розмір і щільність розташування предметів, дослідники доводять, що діти справді чутливі до кількості, і вирішальну роль в експерименті відіграє вона, а не інші характеристики об'єктів. Найпереконливіший доказ узагальненого «чуття чисел» — здатність абстрагувати кількість і переносити її зі звуку на зображення. Почувши *ту-ту-ту-ту* (чотири сигнали), немовлята сильніше цікавляться картинкою із чотирма, а не дванадцятьма предметами, і навпаки<sup>41</sup>. Численні контрольовані експерименти цього типу не залишають сумнівів, що малюки від народження, не рахуючи, інтуїтивно розпізнають приблизну кількість і візуальної, і аудіальної інформації.



А як щодо обчислень? Ось малюк спостерігає, як за ширму по черзі ховаються два предмети. Ширму опускають — овва, а там тільки один! Немовлята чітко дають зрозуміти свій подив, пильно вивчаючи неочікувану сценку<sup>42</sup>. Якщо ж за ширмою обидва предмети, їх удостають лише побіжного погляду. Поведінкові прояви «когнітивного здивування» через різницю між реальною ситуацією й обчисленням в умі доводять, що кількамісячні діти розуміють:  $1 + 1$  має дорівнювати 2. Вони подумки моделюють те, що відбувається за ширмою, і вміють редагувати цю модель, додаючи і віднімаючи об'єкти. Експерименти спрацьовують не тільки для  $1 + 1$  і  $2 - 1$ , а й для  $5 + 5$  і  $10 - 5$ . Якщо помилка достатньо велика, дев'ятимісячні малюки дивуються неправильній реальності. Вони вже знають, що  $5 + 5$  не може дорівнювати 5, а  $10 - 5$  — аж ніяк не  $10$ <sup>43</sup>.

А чуття чисел справді вроджене? Чи для цього досить у перші місяці вивчити, як поводяться групи об'єктів? На початку життя немовлята справді відточують сприйняття кількості<sup>44</sup>, але дані чітко вказують, що їм не потрібно починати з нуля. Новонароджені сприймають числа у перші години після появи на світ — не тільки люди, а й мавпи, голуби, ворони, кури, риби і навіть саламандри. В експерименті з курчатами дослідники ретельно контролювали сенсорну інформацію: від моменту вилуплення пташенята не бачили жодного об'єкта... але потім усе одно розпізнавали кількість<sup>45</sup>.

Подібні експерименти демонструють, що арифметика дарована людям та іншим тваринам еволюцією. Учені виявили нейронні ланцюги, що відповідають за обробку чисел, у мавп і навіть ворон. «Числові» нейрони працюють за схожою схемою в усіх видів: вони налаштовані на певну кількість об'єктів. Деякі нейрони воліють бачити один предмет, інші — два, три, п'ять, а то й тридцять. Особливо важливо, що ці клітини виявляють у тварин, які не проходили жодних спеціальних тренувань<sup>46</sup>. Моя лабораторія використала методи нейровізуалізації і продемонструвала, що у відповідних ділянках людського мозку теж містяться нейрони, налаштовані на сприйняття конкретної кількості. А зараз нові технології дозволяють безпосередньо реєструвати діяльність цих клітин у гіпокампі людини<sup>47</sup>.

Ці результати мимохіть спростували кілька центральних тверджень теорії дитячого розвитку видатного швейцарського

психолога Жана Піаже (1896–1980). Він вважав, що протягом першого року життя діти не розуміють «постійності об'єкта» — тобто не усвідомлюють, що предмет продовжує існувати, навіть коли ми його не бачимо. Також Піаже дотримувався думки, що абстрактне поняття кількості формується кілька років, і малюки повільно засвоюють його через узагальнення конкретних мір — величини, довжини і щільності. Насправді все навпаки. Поняття об'єктів і чисел — фундамент людського мислення, частина «базових знань», з якими ми з'являємося на світ і комбінування яких дарує можливість формулювати набагато складніші думки<sup>48</sup>.

Чуття чисел — один з прикладів невидимої мудрості немовлят, притаманних їм від народження інтуїтивних знань, які впливають на подальше навчання. Далі ми побачимо інші вміння, які науковці виявили в кількомісячних малюків.

### Інтуїція імовірності

Від чисел до ймовірності один крок... І нещодавно дослідники зробили його, надумавши перевірити, чи можуть немовлята у віці кількох місяців передбачити результати лотереї. У цьому експерименті дітям спершу показують прозорий барабан, усередині якого безладно рухаються чотири кульки: три червоні й одна зелена. Унизу є отвір. Потім барабан заповнюють непрозорим газом, і через отвір випадає одна кулька. Отакої — здивування дитини обернено пропорційне ймовірності побаченого. Якщо з'являється червона кулька (а більшість кульок у барабані цієї барви, тому шанси високі), немовля тільки мигцем гляне на неї. Якщо ж вистрибне зелена (імовірність цієї події 1/4), дитина розглядатиме її значно довше.

Подальші перевірки підтвердили, що у крихітних головах немовлят запускається детальна симуляція процесу й обчислення пов'язаних з ним імовірностей. Ми можемо додати в барабан перегородку, що заблокує частину кульок, можемо наблизити чи віддалити їх від отвору, можемо збільшити затримку перед випадінням кульки — і пересвідчимося, що малюки зважають на ці параметри під час ментальних розрахунків. Тривалість погляду завжди вказує на те, що трапилася малоімовірна подія. Очевидно, немовлята обчислюють шанси через кількість залучених об'єктів.