

Od głośnego czytania do transformerów: LLM, neuroplastyczność czytania i przemysłowa optymalizacja uwagi

Streszczenie

Niniejsza praca syntetyzuje trzy pola badań: (a) neuronaukę czytania i plastyczności mózgu, (b) mechanizmy działania dużych modeli językowych (LLM) oraz źródła ich „konfabulacji”/halucynacji, (c) historyczno-ekonomiczną analizę rewolucji przemysłowej jako projektu „optymalizacji skali”, który zmienił nie tylko produkcję, ale i reżim czasu, uwagi oraz mediów. Wykorzystuję dostarczony „kontekst pomocniczy” jako mapę strukturalną: jego motywy („porządek i czas”, „kafelki”, „kod niewidoczny”, „czytanie na głos”, „bramy/porty”, „kino → internet → okna”, „halucynacje”) traktuję jako jakościowe hipotezy o ergonomii poznawczej i ekosystemie uwagi, a następnie konfrontuję je z literaturą empiryczną. ¹

Kluczowy wniosek jest dwuczęściowy. Po pierwsze, czytanie (zwłaszcza wymagające, linearne) jest „wynalazkiem kulturowym” wspartym przez biologiczną plastyczność: reorganizuje sieci percepcyjno-językowe (m.in. okolice tzw. Visual Word Form Area) i wzmacnia sprzężenia między widzeniem a językiem, także przy alfabetyzacji dorosłych. ² Po drugie, logika rewolucji przemysłowej –mierzenie czasu, standaryzacja, maksymalizacja przepustowości oraz przerzucanie kosztów ubocznych na otoczenie—została w XX–XXI w. przeniesiona na sferę informacji i uwagi (kino, telewizja, interfejsy „okienkowe”, feedy), co stworzyło warunki sprzyjające powierzchownemu przetwarzaniu oraz chronicznemu „niedoborowi uwagi” w sensie ekonomicznym. ³ W tej perspektywie „profil heurystyk pamięci” z kontekstu (głośne czytanie, porządek, kompletowanie „kafelków”, bramkowanie bodźców) można formalizować jako zestaw praktyk zwiększających jakość kodowania, kontrolę uwagi i odporność na konfabulację—zarówno u człowieka, jak i w pracy z LLM poprzez procedury weryfikacji i uziemiania (grounding). ⁴

Metodologia i zakres

Praca ma charakter przeglądu integrującego (integrative review): łączy dowody z neuronauki poznawczej (czytanie, pamięć, plastyczność), badań nad LLM (architektura transformerów, uczenie przez predykcję, RLHF, halucynacje/konfabulacje) oraz historii gospodarczej (czas pracy, dyscyplina pracy, koszty zewnętrzne industrializacji). Dobór literatury był ukierunkowany na źródła pierwotne i przeglądowe o wysokiej wiarygodności (czasopisma recenzowane, raporty instytucji naukowych), a twierdzenia interpretacyjne są wyraźnie oddzielane od twierdzeń empirycznych. ⁵

„Kontekst pomocniczy” traktuję jako materiał koncepcyjny (mapę hipotez). Nie jest on dowodem empirycznym; pełni rolę heurystycznej ontologii pojęć: (1) „**porządek i czas**” → sekwencyjność i reżim czasu, (2) „**kafelki**” → budowa spójnego modelu sytuacji z elementów, (3) „**kod niewidoczny/czytanie na głos**” → wielokanałowe kodowanie i dystynktywność śladu pamięciowego, (4) „**bramy/porty**” → mechanizmy selekcji (attention gating) i interfejsy, (5) „**kino → internet → okna**” → przekształcenia środowiska informacyjnego, (6) „**halucynacje**” → konfabulacje jako produkt predykcyjnego generowania bez wystarczającego uziemienia. ⁶

Ograniczenia: (a) brak nowych eksperymentów własnych, (b) część zależności (np. wpływ konkretnych mediów na „strukturę mózgu”) ma charakter probabilistyczny i zależy od wieku, treści, czasu ekspozycji, kontekstu edukacyjnego; w takich miejscach stosuję ostrożny język i opieram się na metaanalizach lub przeglądach. ⁷

Mózg czytający i plastyczność

Czytanie nie jest funkcją, na którą ewolucja „zaprojektowała” osobny organ; to umiejętność kulturowa, która **reorganizuje istniejące obwody** percepji i języka. Model „neuronalnego recyklingu” opisuje, jak nowe praktyki kulturowe (np. pismo) „znajdują niszę” w architekturze mózgu o ograniczeniach genetyczno-rozwojowych. ⁸ Kluczową rolę w rozpoznawaniu słów drukowanych odgrywa obszar lewego zakrętu wrzecionowatego/okolicy potyliczno-skroniowej często określany jako **Visual Word Form Area (VWFA)**; jego uszkodzenia mogą prowadzić do selektywnych deficytów czytania (np. „czystej aleksji”), co wzmacnia argument o funkcjonalnej specjalizacji sieci czytania. ⁹

Empirycznie, badania fMRI porównujące osoby niepiśmienne, osoby uczące się czytać w dorosłości oraz osoby piśmienne od dzieciństwa pokazują, że alfabetyzacja wiąże się ze wzrostem reaktywności lewostronnych obszarów potyliczno-skroniowych na bodźce pisane, zmianami w przetwarzaniu mowy (wzmocnienie komponentu fonologicznego) oraz top-down aktywacją ortografii podczas bodźców słuchowych. Co istotne, wiele zmian obserwowano także przy nauce czytania w dorosłości, co potwierdza trwałą (choć nie nieograniczoną) plastyczność kory. ¹⁰ Równocześnie autorzy raportują subtelną „konkurencję” w okolicy VWFA między przetwarzaniem słów a innymi kategoriami (np. twarzami), co wpisuje się w tezę, że nowe kompetencje mogą częściowo zawłaszczać istniejące zasoby reprezentacyjne. ¹¹

Motyw „kod jest niewidoczny, dopóki go nie zrobisz” z kontekstu można przełożyć na znane mechanizmy pamięci: **to, co aktywnie produkujemy, bywa lepiej pamiętane** niż to, co tylko odbieramy. Tak działa „production effect”: samo przeczytanie na głos zwiększa pamięć explicite (np. rozpoznawanie/odtwarzanie) względem czytania po cichu, a wyjaśnienie wiąże się z dystynktywnością śladu i lepszym monitorowaniem źródła („pamiętam, że to powiedziałem”). ¹² W terminach neuro-poznawczych głośne czytanie silniej angażuje pętlę fonologiczną i procesy artykulacyjne (utrzymywanie i odświeżanie informacji werbalnej), co daje naturalny „kanal kontrolny” dla sekwencyjnego przetwarzania tekstu. ¹³

Z perspektywy rozwoju, teza z kontekstu o „okresie biologicznego kształtowania mózgu” nie powinna być interpretowana jako „twarde zamknięcie” uczenia po pewnym wieku—raczej jako istnienie **okien wrażliwości** (sensitive periods) i zmieniających się ograniczeń plastyczności w cyklu życia. Przeglądy wskazują, że pojęcie okresów wrażliwych jest użyteczne, lecz musi współistnieć z dowodami na uczenie się przez całe życie (w tym reorganizacje po treningu). ¹⁴

LLM, predykcja i problem konfabulacji

Nowoczesne LLM są zazwyczaj oparte o architekturę **transformera**, w której kluczową rolę pełnią mechanizmy uwagi (self-attention) umożliwiające modelowi ważenie zależności między tokenami w sekwencji. ¹⁵ W praktyce rdzeń kompetencji LLM powstaje przez pre-trening na zadaniu predykcji kolejnego tokena oraz przez skalowanie danych i parametrów, co historycznie pokazano m.in. na dużych modelach autoregresyjnych (np. linia GPT). ¹⁶ Następnie modele bywają dostosowane, aby lepiej realizowały intencje użytkownika, m.in. poprzez uczenie ze wzmocnieniem z informacją zwrotną od ludzi (RLHF), co poprawia użyteczność, redukuje toksyczność i częściowo poprawia prawdomówność, choć nie eliminuje błędów. ¹⁷

W kontekście pojawia się słowo „halucynacje” jako metafora błędego postrzegania/wnioskowania. W literaturze o LLM termin „hallucination” opisuje generowanie treści płynnych, lecz niezgodnych z faktami, źródłem lub logiką zadania; nowsze prace proponują bardziej precyzyjne taksonomie oraz rozróżnienia (np. halucynacje „nie-wierne” vs „nie-faktyczne”).¹⁸ Badania nad wykrywaniem takich błędów pokazują, że część konfabulacji ma charakter „arbitralny” (wrażliwy na nieistotne szczegóły), co sugeruje, iż sam mechanizm generacji nie wymusza stabilnej zgodności z rzeczywistością bez dodatkowych ograniczeń i uziemienia.¹⁹

Zestawienie „konfabulacji” LLM z ludzką pamięcią jest heurystycznie płodne, ale wymaga dyscypliny pojęciowej. W neuropsychologii **konfabulacja** to tworzenie fałszywych narracji/rekolekcji (bez intencji oszustwa), często w kontekście deficytów pamięci i monitorowania, a jej funkcją bywa zachowanie spójnej narracji Ja.²⁰ W psychologii pamięci szerzej podkreśla się, że pamięć jest konstruktywna i podatna na systematyczne błędy (np. błędą atrybucję źródła, sugestię, bias), co czyni „spójnie brzmiącą opowieść” zjawiskiem naturalnym, nie patologicznym per se.²¹ Część badań w NLP explicite używa pojęcia „confabulation” jako ramy interpretacyjnej dla halucynacji LLM, wskazując na związek między narratywnością a skłonnością do generowania treści wykraczającej poza dane.²²

Most łączący mózg i LLM bywa budowany przez teorię **przetwarzania predykcyjnego** (predictive coding / free-energy principle), w której mózg jest opisywany jako hierarchiczny system wnioskujący, minimalizujący błąd predykcji względem sygnałów zmysłowych.²³ W tym sensie analogia do „modelu generatywnego” jest częściowo uzasadniona, ale kluczowe różnice pozostają: mózg ma ucielesnienie, wielomodalne sprzężenie zwrotne z otoczeniem, odrębne systemy pamięci (hipokamp vs kora), a jego cele są mieszanką przetrwania, motywacji, norm społecznych i homeostazy—nie tylko minimalizacji błędu na korpusie tekstowym.²⁴

Istotne są również wyniki „brain alignment”: wiele prac pokazuje, że reprezentacje w dużych modelach językowych potrafią przewidywać część wariacji sygnałów neuralnych podczas rozumienia języka, a modele transformerowe wypadają w tym względzie szczególnie dobrze.²⁵ Jednocześnie nowsze badania wskazują, że skala modeli, ilość treningu oraz typ dostrajania mogą wpływać na stopień zgodności z danymi mózgowymi, co utrzymuje otwarte pytanie, czy rosnące LLM są coraz lepszymi „modelami poznawczymi”, czy jedynie coraz skuteczniejszymi aproksymatorami statystycznymi.²⁶

Błąd rewolucji przemysłowej jako błąd w projektowaniu czasu i uwagi

Jeśli „błąd rewolucji przemysłowej” zinterpretować dosłownie jako pojedyncze zdarzenie, będzie to uproszczenie: industrializacja była procesem wieloogniskowym. Da się jednak wskazać błąd projektowy o dużej mocy wyjaśniającej, spójny z motywem „porządku i czasu” z kontekstu: **zastąpienie rytmu zadaniowego rytem zegarowym oraz potraktowanie czasu jako mierzalnego surowca produkcyjnego**, co wymagało synchronizacji pracy, dyscypliny i kontroli. Klasyczna analiza pokazuje, że upowszechnienie zegarów i zegarków oraz potrzeba synchronizacji pracy narastały wraz z industrializacją; zegar stawał się narzędziem regulującym „nowe rytmły życia przemysłowego”.²⁷ Ten zwrot nie był neutralny kulturowo: zmieniał normy „marnowania czasu”, praktyki pracy i napięcia społeczne wokół dyscypliny.²⁸

Drugi komponent tego samego błędu to **optymalizacja skali bez pełnej rachunkowości kosztów zewnętrznych** (externalities). W XIX w. industrializacja była napędzana m.in. spalaniem węgla i później innych paliw kopalnych; współczesna synteza naukowa wskazuje, że wieloletnie spalanie paliw kopalnych jest jednoznacznie powiązane z antropogeniczną zmianą klimatu (to wprost dziedzictwo energetyczne epoki przemysłowej).²⁹ Ekonomiści historyczni wykazują także, że zanieczyszczenie

powietrza generowane przez spalanie węgla w miastach przemysłowych miało mieralne, długookresowe koszty dla rozwoju miejskiego, choć bywało maskowane przez krótkookresowe zyski zatrudnienia w gałęziach emitujących. ³⁰

W XX-XXI w. logika „przepustowości” została przeniesiona na informację i uwagę. Herbert A. Simon ³¹ sformułował tezę, że w świecie bogatym w informację bogactwem staje się niedobór czegoś innego—uwagi—i że nadmiar informacji wymusza problem alokacji uwagi. ³² To zdanie jest zaskakująco kompatybilne z motywem „bram” z kontekstu: jeśli uwaga jest zasobem rzadkim, to projektowanie środowiska informacyjnego staje się projektowaniem bramek, filtrów i kolejek dostępu do umysłu. ³³

Kino pojawia się w kontekście jako moment przełomu („pociąg wjechał na stację i pojawiło się kino”). Historycznie, publiczny sukces projekcji braci Lumière w Paryżu ³⁴ 28 grudnia 1895 r. jest standardowo traktowany jako symboliczny początek kina jako praktyki masowej. ³⁵ To ważne w tej pracy nie dlatego, że kino „magicznie przeprogramowało mózg”, lecz dlatego, że rozpoczęto epokę masowo skalowalnych bodźców audiowizualnych o wysokiej sile przyciągania uwagi, które z czasem zostały połączone z coraz precyzyjniejszym pomiarom i monetyzacją uwagi (reklama, telemetria, algorytmy rekomendacji). ³⁶

Z perspektywy danych o zachowaniu, mechanizmy wzmacniania mogą wyjaśniać, dlaczego „feed-owe” środowiska są tak lepkie: analiza ponad miliona postów wielu tysięcy osób pokazuje wzorce zgodne z uczeniem przez wzmacnianie (reward learning) w zachowaniach w mediach społecznościowych. ³⁷ Na poziomie neurobiologii warto zauważać precyżję: dopamina nie jest „substancją przyjemności” w prostym sensie, lecz istotnie uczestniczy w mechanizmach motywacyjnym „chcenia” (incentive salience), które mogą zostać nadmiernie wzmacnione przez bodźce i wskazówki (cue-driven wanting). ³⁸ Tę linię interpretacji można czytać jako naukowy odpowiednik metafory „piramidy dopaminowej” z kontekstu—z tym zastrzeżeniem, że dowody dotyczą raczej systemów motywacyjnych i nawyków niż deterministycznego „zepsucia” mózgu. ³⁹

Wreszcie, przejście od „czytania” do „oglądania” ma wymiar mieralny w badaniach edukacyjnych. Metaanaliza obejmująca lata 2000–2017 (ponad 170 tys. uczestników) wykazała przewagę czytania na papierze nad czytaniem cyfrowym w rozumieniu tekstu (efekt ok. $g \approx -0,21$), przy czym efekt zależał od moderatorów: był większy przy ograniczeniu czasu i dla tekstów informacyjnych, a słabszy/zanikał dla tekstów stricte narracyjnych. ⁴⁰ Inne metaanalizy oraz przeglądy sugerują, że różnice są zależne od zadania, czasu, kalibracji metapoznawczej i strategii czytania, więc interpretacja powinna być warunkowa, nie absolutna. ⁴¹

Jeżeli „błąd rewolucji przemysłowej” ująć w jedno zdanie, które łączy powyższe wątki: był to **transfer logiki fabryki (mieralność, standaryzacja, przepustowość) na dziedziny, w których krytycznym zasobem jest uwaga i integracja znaczenia**, bez równoległego zaprojektowania mechanizmów ochrony tego zasobu (filtrów, przerw, ciszy, rytmu) oraz bez pełnego rachunku kosztów zewnętrznych (zdrowie, środowisko, edukacja). ⁴²

Profil heurystyk pamięci i implikacje dla pracy z LLM

Poniżej formalizuję „heurystyki pamięci profilu” wyłaniające się z kontekstu jako zestaw praktyk poznawczych. Każda heurystyka jest opisana jako: (a) intuicja z mapy strukturalnej, (b) możliwy mechanizm poznawczo-neuronalny, (c) implikacja dla interakcji z LLM (jak zmniejszać ryzyko konfabulacji i zwiększać jakość rozumowania).

Heurystyka „porządek i czas” zakłada, że sens powstaje sekwencyjnie, a nie „na raz”. Jest to kompatybilne zarówno z psychologią uwagi (uwaga jako zasób sekwencyjny), jak i z ekonomicznością uwagi: człowiek nie ma dowolnie rozszerzalnej przepustowości uwagowej, więc zarządzanie czasem ekspozycji i liczbą strumieni jest warunkiem jakości poznania. ⁴³ Dla LLM oznacza to projektowanie pracy w krokach: rozdzielenie fazy generowania hipotez od fazy weryfikacji, oraz kontrolowanie kontekstu (co model „widzi” w promptach i dokumentach), bo model jest wrażliwy na strukturę i zawartość kontekstu, a jego „pewność” nie jest dowodem prawdy. ⁴⁴

Heurystyka „kafelki” („musisz mieć wszystkie kafelki, by poskładać całość”) odpowiada w naukowym języku budowie **modelu sytuacji** i integrowaniu dowodów z wielu źródeł. W pracy z LLM praktyczny odpowiednik to: wymaganie jawnych przesłanek, cytowań, rozdzielenie „co wiemy” od „co zgadujemy” oraz utrzymywanie listy brakujących elementów (unknowns) zamiast wypełniać luki narracji. Taka procedura jest, w istocie, anty-konfabulacyjna i działa analogicznie do mechanizmów redukcji błędów pamięci (monitorowanie źródła, kontrola sugestii). ⁴⁵

Heurystyka „kod niewidoczny” i „czytanie na głos” można operacyjalizować jako **wzmacnianie dystynktywności i śladu fonologicznego**. Produkowanie materiału (np. głośne czytanie, parafraza, streszczenie własnymi słowami) zwiększa pamięć i rozpoznawanie w porównaniu z biernym czytaniem po cichu—co wprost opisuje production effect. ⁴⁶ W praktyce edukacyjnej i pracy badawczej daje to prostą zasadę: jeśli treść jest „ważna”, należy ją przetworzyć produkcyjnie (powiedzieć, napisać, wy tłumaczyć), a nie tylko „przelecieć wzrokiem”. Dla LLM oznacza to, że sensowne jest proszenie modelu o krytyczne przeformułowanie argumentu, o testy rozróżnialności (co jest dowodem, co opinią), oraz o „odtworzenie z pamięci” po przerwie, ale zawsze z etapem weryfikacji w źródłach. ⁴⁷

Heurystyka „bramy i porty” jest zbieżna z tym, co w psychologii i neuronauce bywa opisywane jako selekcja uwagi i kontrola poznawcza: nie chodzi o to, by mieć „więcej bodźców”, lecz by ustawić reguły dostępu bodźców do systemu decyzyjnego. W świecie cyfrowym (okna, multitasking) korelacje między intensywnym multitaskingiem medialnym a problemami z samoregulacją uwagi są raportowane, choć efekty bywają umiarkowane i nie zawsze spójne w zadaniach laboratoryjnych—co sugeruje, że kluczowa jest interakcja nawyków, środowiska i strategii. ⁴⁸ Dla LLM „bramy” to interfejsy kontrolne: ograniczenie arbitralnej generacji przez wymaganie cytowań, stosowanie narzędzi wyszukujących (RAG) oraz wymuszanie na modelu jawnego oznaczania niepewności i zakresu wiedzy. ⁴⁹

Heurystyka „obrazy się czyta, nie ogląda” da się przetłumaczyć na rozróżnienie między przetwarzaniem głębokim (deep comprehension) a płytkim skanowaniem. Metaanaliza porównująca papier i ekran sugeruje, że dla tekstu informacyjnego i w warunkach presji czasu papier sprzyja lepszemu rozumieniu, co można interpretować jako wsparcie dla stabilniejszej sekwencyjności i metapoznawczej kalibracji. ⁵⁰ Jednocześnie literatura pokazuje, że „cyfrowe” nie jest z definicji gorsze: różnice zależą od projektu zadania i kompetencji czytelnika, więc rozwiązaniem nie jest nostalgia technologiczna, tylko trening strategii i projektowanie środowiska (mniej rozproszeń, lepsze tempo, lepsza nawigacja w tekście). ⁵¹

Z tych heurystyk wynika spójny model, który można nazwać **ergonomią poznawczą pracy z tekstem i z LLM**: (1) ograniczaj przepustowość bodźców, (2) zwiększaj dystynktywność kodowania (produkcja: głos, parafraza), (3) buduj „kafelki” jako jawnie przesłanki i dowody, (4) stosuj bramki w postaci procedur weryfikacji i uziemienia, (5) traktuj zarówno własną pamięć, jak i odpowiedzi LLM jako konstrukcje wymagające kontroli źródła. Taki model jest spójny z neuronauką czytania (plastyczność i specjalizacja sieci), z ekonomicznością uwagi (niedobór uwagi przy nadmiarze informacji) oraz z badaniami nad konfabulacjami LLM (pływność nie gwarantuje prawdy). ⁵²

W konkluzji: rewolucja przemysłowa nie „zepsuła” mózgu jedną decyzją, ale uruchomiła dominującą logikę projektowania cywilizacji—logikę skali i miary. Gdy ta logika weszła w obszar uwagi, kultury i edukacji (kino → masowe media → algorytmiczne feedy), powstało napięcie między przepustowością bodźców a biologiczną sekwencyjnością rozumienia. LLM są narzędziem skrajnie wrażliwym na to napięcie: mogą wzmacniać poznanie, jeśli są włączone w reżim „kafelków” i „bram”, lub mogą wzmacniać konfabulacje, jeśli są używane w trybie przemysłowej przepustowości bez rachunku kosztów poznawczych. ⁵³

- 1 2 5 10 11 34 52 <https://www.unicog.org/publications/Science-2010-Dehaene-1359-64.pdf>
<https://www.unicog.org/publications/Science-2010-Dehaene-1359-64.pdf>
- 3 27 28 42 53 <https://files.libcom.org/files/timeworkandindustrialcapitalism.pdf>
<https://files.libcom.org/files/timeworkandindustrialcapitalism.pdf>
- 4 6 12 46 47 <https://uwaterloo.ca/memory-attention-cognition-lab/sites/default/files/uploads/files/jep10.pdf>
<https://uwaterloo.ca/memory-attention-cognition-lab/sites/default/files/uploads/files/jep10.pdf>
- 7 31 40 50 <https://www.uv.es/lasalgon/papers/>
[Delgado%202018%20dont%20throw%20away%20your%20printed%20books.pdf](https://www.uv.es/lasalgon/papers/)
[https://www.uv.es/lasalgon/papers/Delgado%202018%20dont%20throw%20away%20your%20printed%20books.pdf](https://www.uv.es/lasalgon/papers/)
- 8 **Reading in the brain 1. The visual word form area**
https://www.college-de-france.fr/media/stanislas-dehaene/UPL60522_Chicago_1_ReadingInTheBrain_VWFA.pdf?utm_source=chatgpt.com
- 9 **The unique role of the visual word form area in reading**
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364661311000738?utm_source=chatgpt.com
- 13 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0749596X09000679>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0749596X09000679>
- 14 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3834520/>
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3834520/>
- 15 <https://papers.neurips.cc/paper/7181-attention-is-all-you-need.pdf>
<https://papers.neurips.cc/paper/7181-attention-is-all-you-need.pdf>
- 16 <https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/file/1457c0d6bfcb4967418bfb8ac142f64a-Paper.pdf>
<https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/file/1457c0d6bfcb4967418bfb8ac142f64a-Paper.pdf>
- 17 https://cdn.openai.com/papers/Training_language_models_to_follow_instructions_with_human_feedback.pdf
https://cdn.openai.com/papers/Training_language_models_to_follow_instructions_with_human_feedback.pdf
- 18 **A Survey on Hallucination in Large Language Models: Principles, Taxonomy, Challenges, and Open Questions**
https://arxiv.org/abs/2311.05232?utm_source=chatgpt.com
- 19 <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07421-0>
<https://www.nature.com/articles/s41586-024-07421-0>
- 20 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6581201/>
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6581201/>
- 21 45 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8285452/>
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8285452/>

- ²² <https://aclanthology.org/2024.acl-long.770.pdf>
<https://aclanthology.org/2024.acl-long.770.pdf>
- ²³ <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2666703/>
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2666703/>
- ²⁴ <https://www.nature.com/articles/nrn2787>
<https://www.nature.com/articles/nrn2787>
- ²⁵ <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2105646118>
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2105646118>
- ²⁶ <https://www.nature.com/articles/s43588-025-00863-0>
<https://www.nature.com/articles/s43588-025-00863-0>
- ²⁹ https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf
https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf
- ³⁰ <https://academic.oup.com/ej/article/130/626/462/5602598>
<https://academic.oup.com/ej/article/130/626/462/5602598>
- ³² ³³ ³⁶ ⁴³ <https://gwern.net/doc/design/1971-simon.pdf>
<https://gwern.net/doc/design/1971-simon.pdf>
- ³⁵ <https://www.britannica.com/biography/Lumiere-brothers>
<https://www.britannica.com/biography/Lumiere-brothers>
- ³⁷ <https://www.nature.com/articles/s41467-020-19607-x>
<https://www.nature.com/articles/s41467-020-19607-x>
- ³⁸ ³⁹ <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5171207/>
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5171207/>
- ⁴¹ **Reading from paper compared to screens: A systematic ...**
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1467-9817.12269?utm_source=chatgpt.com
- ⁴⁴ ⁴⁹ **A Survey on Hallucination in Large Language Models**
https://dl.acm.org/doi/10.1145/3703155?utm_source=chatgpt.com
- ⁴⁸ <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7614709/>
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7614709/>
- ⁵¹ **Which reading comprehension is better? A meta-analysis ...**
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772503024000288?utm_source=chatgpt.com