



Dlaczego tokamak nie potrząsa protonami? (A może powinien?)

Arkadiusz Okupski

Grudzień 2025

Streszczenie

Proponujemy hipotezę, że oddziaływanie kulombowskie nie jest barierą czysto statyczną, lecz procesem dynamicznym, którego skuteczność może ulegać chwilowemu osłabieniu bez zmiany wartości ładunku fundamentalnego.

Mechanizm nie polega na ekranowaniu ani neutralizacji, lecz na czasowym rozstrojeniu procesu manifestacji ładunku pod wpływem szybkozmiennych pól elektromagnetycznych. W takim reżimie efektywny ładunek $Q_{\text{eff}}(t)$ ulega obniżeniu, a bariera kulombowska staje się dynamicznie „miękką”.

Tokamaki, jako układy wymuszające stacjonarność i synchronizację faz, są strukturalnie ślepe na ten efekt. Jeżeli efekt istnieje, może ujawniać się wyłącznie w reżimach impulsowych.

Kluczowe założenie jest jednoznaczne: jeśli mechanizm manifestacji ładunku nie posiada wewnętrznej skali czasowej, model traci rację bytu. Jeśli taka skala istnieje — zapłon syntezy zależy od dynamicznego rozstrojenia mechanizmu generowania oddziaływania kulombowskiego, a nie wyłącznie od wartości temperatury.

1 Problem zapłonu syntezy w tokamaku

Podstawową barierą zapłonu syntezy termojądrowej w tokamakach jest oddziaływanie kulombowskie pomiędzy protonami, które w klasycznym ujęciu traktowane jest jako fundamentalne i nieredukowalne. Standardowe podejścia do problemu zapłonu koncentrują się na:

- podnoszeniu temperatury plazmy,
- wydłużaniu czasu uwięzienia,
- zwiększaniu gęstości paliwa.

Podejścia te zakładają niezmienność mechanizmu odpowiedzialnego za manifestację ładunku elektrycznego i wynikające z niego oddziaływanie kulombowskie. Niniejsza praca przyjmuje inną perspektywę: zamiast wzmacniania parametrów energetycznych, rozważa możliwość czasowego rozregulowania mechanizmu generowania oddziaływania.

Warto podkreślić, że jest to podejście odmienne od wcześniejszych prac autora, w których analizowano rolę geometrii czasowej i reżimów dynamicznych plazmy. Obecna analiza koncentruje się wyłącznie na strukturze ładunku i jego stabilności, bez odwołań do mechanizmów dylatacji lub przyspieszenia czasu (por. [3]).

2 Ładunek jako efekt uporządkowania Z1

W modelu z piórnika ładunek elektryczny nie jest bytem pierwotnym, lecz emergentnym skutkiem uporządkowania struktury wewnętrznej oznaczanej jako Z1:

$$Q \neq 0 \iff Z1_{\text{ordered}}.$$

Oddziaływanie kulombowskie pomiędzy protonami jest zatem konsekwencją stabilnego i zsynchronizowanego stanu Z1 w każdej z cząstek. Jeżeli porządek ten zostanie czasowo rozregulowany, sposób manifestacji oddziaływania kulombowskiego ulega zmianie. Nie jest z góry przesądzone, czy zmiana ta prowadzi do osłabienia, wzmocnienia czy niestabilności oddziaływania; kluczowe jest samo zaburzenie mechanizmu jego generowania, przy zachowaniu tożsamości cząstki oraz wartości ładunku fundamentalnego.

W tym ujęciu problem zapłonu syntezy nie polega na „usunięciu” bariery kulombowskiej, lecz na krótkotrwałym obniżeniu jej skutecznej manifestacji poprzez zaburzenie wewnętrznego mechanizmu porządkowania Z1.

3 Analogia hydrodynamiczna



Rysunek 1: Pinezka, kulka PS

W celu zbudowania intuicji rozważmy analogię hydrodynamiczną:

- obiekty pływające → cząstki naładowane,
- menisk powierzchniowy → obserwowalna manifestacja oddziaływania kulombowskiego,
- napięcie powierzchniowe → mechanizm generujący oddziaływanie,
- uporządkowanie Z1 → przyczyna istnienia tego mechanizmu.

Analogia ta rozdziela przyczynę od efektu: oddziaływanie nie wynika bezpośrednio z własności obiektów, lecz z istnienia uporządkowanego mechanizmu w medium, w którym oddziaływanie się ujawnia.

4 Pole elektromagnetyczne jako czynnik rozstrajający Z1

W ontologii p-gluonowej zewnętrzne, silnie oscylujące pole elektromagnetyczne nie zmienia wartości ani znaku fundamentalnego ładunku. Jego rolą jest rozstrajanie procesu porządkowania wewnętrznej struktury **Z1**, która odpowiada za stabilną manifestację tego ładunku.

Pole EM działa poprzez:

- wprowadzanie **fluktuacji fazowych**,

- **konkurencję czasową** z naturalnym mechanizmem stabilizacji Z1,
- skracanie czasu, w którym może utrzymać się uporządkowany stan.

Formalnie rozróżniamy dwa reżimy dynamiczne:

$$\tau_{Z1} \gg T_{EM} \Rightarrow Z1_{\text{ordered}} \quad (\text{porządek dominuje}),$$

$$\tau_{Z1} \lesssim T_{EM} \Rightarrow Z1_{\text{dynamical}} \quad (\text{wymuszenie destabilizuje}),$$

gdzie:

- τ_{Z1} — charakterystyczny czas relaksacji (porządkowania) struktury Z1,
- T_{EM} — okres zewnętrznego wymuszenia elektromagnetycznego.

W reżimie drugim ładunek nie zanika, lecz jego zdolność do generowania stabilnego oddziaływania kulombowskiego ulega dynamicznemu rozmyciu.

Kluczowa analogia: kostki na wstrząsanej taśmie. Mechanizm ten można przedstawić jako przesuwanie się kostek (Z1) po taśmie, gdzie stabilny stan „wszystkie oczka 6 do przodu” odpowiada ładunkowi ujemnemu, a „1 do przodu” — dodatniemu. Szybkie oscylacje pola EM działają jak **rytmiczne, silne uderzenia w taśmę od spodu**. Kostki nieustannie się przekręcają, a ich orientacje ulegają randomizacji. Fundamentalny ładunek (symbol na kostce) pozostaje, ale system **nie ma fizycznego czasu, aby ustawić się w globalny porządek** konieczny do wyłonienia się silnego oddziaływania kulombowskiego.

5 Osłabienie oddziaływania Kulombowskiego

Efektywne oddziaływanie kulombowskie staje się funkcją stopnia uporządkowania Z1:

$$F_C^{\text{eff}} = F_C \cdot \langle Z1 \rangle.$$

Dla:

$$\langle Z1 \rangle \rightarrow 0 \Rightarrow F_C^{\text{eff}} \rightarrow 0.$$

Nie jest to ekranowanie Debye’a ani neutralizacja ładunku, lecz czasowe rozmycie mechanizmu jego manifestacji.

6 Konsekwencje dla syntezy w tokamaku

W takim reżimie:

- protony mogą zbliżać się na mniejsze odległości,
- bariera kulombowska ulega dynamicznej modyfikacji,
- efektywne prawdopodobieństwo zbliżeń jądrowych rośnie,
- zapłon może zajść bez konieczności ekstremalnego wzrostu temperatury.

Proponowany mechanizm nie zastępuje tunelowania kwantowego, lecz zmienia warunki, w których ono zachodzi, poprzez dynamiczne rozregulowanie skutecznej bariery kulombowskiej i jej czasowej spójności.

7 Dlaczego tokamak tego nie robi

Standardowy tokamak:

- używa pola EM do uwięzienia,
- minimalizuje oscylacje,
- dąży do stanu quasi-statycznego.

W ontologii p-gluonowej jest to podejście błędne: utrwała ono porządek Z1 zamiast go rozstrajać.

8 Wniosek

Zapłon syntezy może wymagać nie wzmacniania ładunku, lecz jego czasowego „rozstrojenia”. Silne, szybkie oscylacje pola elektromagnetycznego działają jak surfaktant dla struktury Z1, niszcząc napięcie odpowiedzialne za oddziaływanie kulombowskie.

Nie zmieniamy praw natury. Zmieniamy warunki, w których mają czas się ujawnić.

9 Punkt falsyfikacji: czy ładunek ma czas relaksacji?

Każdy model postulujący możliwość dynamicznego osłabienia oddziaływania kulombowskiego musi odpowiedzieć na jedno fundamentalne pytanie:

Czy istnieje skończony czas relaksacji struktury odpowiedzialnej za manifestację ładunku elektrycznego?

W fizyce akademickiej odpowiedź brzmi: *nie wiadomo*, ponieważ Standardowy Model nie definiuje żadnego wewnętrznego stopnia swobody, któremu można by przypisać taki czas. Ładunek jest parametrem pola, a nie procesem dynamicznym.

9.1 Co wiemy empirycznie

Eksperymenty o bardzo wysokiej precyzji (QED, spektroskopia atomowa, rozpraszanie, stabilność poziomów energetycznych) narzucają silne ograniczenia na ewentualną dynamikę ładunku:

- brak obserwowanego opóźnienia w oddziaływaniach EM,
- brak dyspersji czasowej ładunku,
- brak zależności oddziaływań od historii pola EM.

Wszystko to oznacza, że jeśli czas relaksacji istnieje, musi być *krótszy niż wszystkie dotychczas testowane skale czasowe*.

9.2 Luka interpretacyjna

Istotne jest jednak to, że powyższe ograniczenia empiryczne dotyczą głównie:

- stanów stacjonarnych,
- pól elektromagnetycznych quasi-statycznych,
- słabych lub umiarkowanych amplitud oddziaływań.

Nie istnieją natomiast bezpośrednie eksperymenty badające ekstremalnie szybkie oscylacje pola elektromagnetycznego w silnie nieliniowych, wysokoenergetycznych plazmach, dalekich od równowagi dynamicznej.

Model sonarowy lokuje się właśnie w tej luce interpretacyjnej, proponując mechanizm oparty na czasowym rozregulowaniu wewnętrznego kanału manifestacji oddziaływań, a nie na modyfikacji ich struktury fundamentalnej.

9.3 Warunek krytyczny

Jeśli istnieje wewnętrzny czas porządkowania struktury Z1, to oddziaływanie kulombowskie powinno ulegać osłabieniu w warunku:

$$\omega_{\text{EM}} \gtrsim \frac{1}{\tau_{Z1}},$$

gdzie:

- ω_{EM} — częstotliwość zewnętrznego pola,
- τ_{Z1} — czas relaksacji porządku Z1.

Jeśli natomiast:

$$\tau_{Z1} \rightarrow 0,$$

to mechanizm opisany w niniejszej pracy jest jednoznacznie wykluczony.

10 Równoważna formuła: dynamiczny ładunek efektywny

Aby oddzielić mechanizm fizyczny od ontologii modelu, można sformułować hipotezę w języku standardowej fizyki plazmy, bez odwoływania się do wewnętrznych struktur cząstek.

10.1 Postulat roboczy

Zakładamy, że w warunkach dynamicznych oddziaływanie kulombowskie może być opisane przez *czasowo zależny ładunek efektywny*:

$$Q_{\text{eff}}(t).$$

Nie jest to zmiana ładunku fundamentalnego, lecz zmiana zdolności układu do manifestowania oddziaływań elektromagnetycznych w krótkich skalach czasowych.

10.2 Warunek dynamiczny

Dla wolnozmiennych pól:

$$\omega_{\text{EM}} \ll \frac{1}{\tau} \Rightarrow Q_{\text{eff}} \approx Q.$$

Dla pól szybkooscylujących:

$$\omega_{\text{EM}} \gtrsim \frac{1}{\tau} \Rightarrow Q_{\text{eff}} \rightarrow \langle Q_{\text{eff}} \rangle < Q.$$

Efektywna siła kulombowska przyjmuje postać:

$$F_C^{\text{eff}}(r, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_{\text{eff}}^2(t)}{r^2}.$$

10.3 Znaczenie fizyczne

Powyższa formuła nie wymaga:

- zmiany praw QED,
- modyfikacji ładunku fundamentalnego,
- istnienia nowych pól.

Opisuje ona jedynie fakt, że w silnie nieliniowych, szybko zmiennych środowiskach plazmowych oddziaływania elektromagnetyczne ulegają dynamicznemu uśrednieniu.

10.4 Związek z istniejącymi pojęciami

Dynamiczny ładunek efektywny jest równoważny:

- dynamicznemu ekranowaniu,
- motional averaging,
- uśrednianiu Floqueta,
- nieliniowej odpowiedzi plazmy.

Różnica polega na interpretacji: zamiast traktować te efekty jako korekty, uznaje się je za fundamentalny parametr sterujący procesami wysokiej energii.

10.5 Konsekwencje dla syntezy

Jeżeli w fazie zapłonu:

$$Q_{\text{eff}} \ll Q,$$

to bariera kulombowska ulega czasowemu spłaszczeniu, co zwiększa prawdopodobieństwo zblizeń jądrowych bez konieczności ekstremalnego podnoszenia temperatury.

W tym ujęciu zapłon syntezy jest problemem dynamiki czasowej, a nie statycznej energii.

11 Dynamiczne kryterium zapłonu: uogólnienie warunku Lawsons

Klasyczne kryterium Lawsons formułuje warunek zapłonu syntezy termojądrowej jako nierówność statyczną:

$$nT\tau_E \geq L_0,$$

gdzie n jest gęstością, T temperaturą, a τ_E czasem utrzymania energii.

Kryterium to zakłada, że oddziaływanie kulombowskie jest:

- natychmiastowe,
- statyczne,
- niezależne od historii pola elektromagnetycznego.

W warunkach ekstremalnie szybkiej dynamiki założenia te przestają być oczywiste.

11.1 Postulat dynamiczny

Zakładamy, że w warunkach silnego wymuszania elektromagnetycznego oddziaływanie kulombowskie opisuje czasowo zależny ładunek efektywny $Q_{\text{eff}}(t)$.

Wówczas efektywna bariera kulombowska skaluje się jak:

$$V_C^{\text{eff}}(r, t) \propto Q_{\text{eff}}^2(t).$$

11.2 Kryterium czasowe

Definiujemy charakterystyczny czas relaksacji oddziaływania elektromagnetycznego τ_{EM} .

Dla:

$$\omega_{\text{EM}} \ll \frac{1}{\tau_{\text{EM}}},$$

odzyskujemy klasyczne zachowanie:

$$Q_{\text{eff}} \approx Q.$$

Dla:

$$\omega_{\text{EM}} \gtrsim \frac{1}{\tau_{\text{EM}}},$$

następuje dynamiczne osłabienie oddziaływania:

$$Q_{\text{eff}} = \eta Q, \quad 0 < \eta < 1.$$

11.3 Dynamiczne kryterium zapłonu

Prawdopodobieństwo tunelowania jądowego zależy wykładniczo od bariery kulombowskiej. W przybliżeniu:

$$P \sim \exp \left[-\frac{Q_{\text{eff}}^2}{T} \right].$$

Wprowadzając η , otrzymujemy efektywną temperaturę:

$$T_{\text{eff}} = \frac{T}{\eta^2}.$$

Dynamiczne kryterium zapłonu przyjmuje więc postać:

$$n T_{\text{eff}} \tau_E = n \frac{T}{\eta^2} \tau_E \geq L_0.$$

Lub równoważnie:

$$n T \tau_E \geq \eta^2 L_0.$$

11.4 Interpretacja fizyczna

- Dla $\eta = 1$ odzyskujemy klasyczne kryterium Lawsona.
- Dla $\eta < 1$ próg zapłonu ulega obniżeniu.
- Zapłon staje się problemem dynamiki czasowej, a nie wyłącznie temperatury.

11.5 Implikacje dla reaktorów

Tokamak. Pola magnetyczne są stabilizowane i quasi-statyczne:

$$\omega_{\text{EM}} \ll \frac{1}{\tau_{\text{EM}}} \Rightarrow \eta \approx 1.$$

Tokamak nie korzysta z efektów dynamicznych.

ICF i plazmy laserowe. Impulsowe, gwałtowne pola EM:

$$\omega_{\text{EM}} \gtrsim \frac{1}{\tau_{\text{EM}}} \Rightarrow \eta < 1.$$

W takim reżimie bariera kulombowska może ulegać czasowej modyfikacji, co potencjalnie obejmuje jej chwilowe spłaszczenie.

Wniosek

Jeżeli w fazie zapłonu skuteczność oddziaływania kulombowskiego opisana parametrem η wykazuje istotną dynamikę czasową, to klasyczne kryterium Lawsona, sformułowane dla oddziaływań stacjonarnych, może nie stanowić wystarczającego opisu warunków zapłonu.

W takim przypadku zapłon syntezy zależy nie tylko od wartości temperatury i gęstości, lecz także od dynamiki czasowej oddziaływań elektromagnetycznych, w szczególności od relacji pomiędzy charakterystycznymi skalami czasowymi procesu.

12 Tokamak jako reżim wymuszający $\eta \rightarrow 1$

W ramach dynamicznego opisu oddziaływania kulombowskiego kluczowym parametrem sterującym jest stosunek częstotliwości zewnętrznych pól elektromagnetycznych do charakterystycznego czasu relaksacji oddziaływania.

12.1 Architektura tokamaka

Tokamak jest projektowany jako układ:

- o możliwie stałych w czasie polach magnetycznych,
- z aktywnym tłumieniem fluktuacji EM,
- z maksymalizacją czasu utrzymania energii τ_E .

Celem jest stabilność plazmy, a nie dynamika krótkoczasowa.

12.2 Konsekwencje dynamiczne

W języku modelu oznacza to, że tokamak systematycznie dąży do reżimu:

$$\omega_{EM} \ll \frac{1}{\tau},$$

co implikuje:

$$Q_{\text{eff}} \approx Q, \quad \eta \rightarrow 1.$$

Dynamiczne osłabienie oddziaływania kulombowskiego, nawet jeśli istnieje, jest w takich warunkach projektowo tłumione.

12.3 Granice wniosku

Powyższy argument nie dowodzi, że efekt $\eta < 1$ nie istnieje. Dowodzi jedynie, że tokamak jest urządzeniem, które:

- minimalizuje amplitudę szybkich pól EM,
- wydłuża wszystkie istotne skale czasowe,
- eliminuje warunki sprzyjające dynamicznym efektom.

Jeżeli charakterystyczny czas relaksacji oddziaływania τ jest ekstremalnie krótki, to zarówno tokamak, jak i ICF mogą znajdować się poza zakresem czułości tego mechanizmu.

12.4 Wniosek sonarowy

W logice modelu tokamak nie jest „złym” urządzeniem, lecz urządzeniem samokonsystentnie nieczułym na dynamiczne modyfikacje oddziaływań elektromagnetycznych. Jest to ograniczenie strukturalne, a nie technologiczne.

12.5 Status modelu

Przedstawiony mechanizm:

- jest logicznie spójny,
- nie narusza znanych praw wprost,
- opiera się na pomocniczej ontologii modelowej (p-gluonowej), w której Z_1 jest miarą uporządkowania struktury odpowiedzialnej za manifestację ładunku elektrycznego,
- jest falsyfikowalny przez brak jakiegokolwiek efektu dynamicznego.

Model nie konkuruje z QED jako teorią obliczeniową. Proponuje on jedynie hipotezę, że znane oddziaływania są brzegową manifestacją głębszej, dynamicznej struktury.

13 Dolne oszacowanie czasu relaksacji τ

Kluczowym parametrem dynamicznego opisu oddziaływania elektromagnetycznego jest charakterystyczny czas relaksacji τ , po którym efektywny ładunek przyjmuje wartość stacjonarną:

$$Q_{\text{eff}}(t) \rightarrow Q.$$

Jeżeli τ jest krótszy niż wszystkie dostępne skale czasowe, mechanizm dynamicznego osłabienia oddziaływania jest empirycznie niewidoczny i model traci znaczenie fizyczne.

13.1 Najostrzejsze istniejące ograniczenia

Najmocniejsze dolne ograniczenia na τ wynikają z eksperymentów, w których oddziaływanie kulombowskie jest testowane w ekstremalnie krótkich skalach czasowych.

Rozpraszanie wysokoenergetyczne. Dla procesów o transferze energii rzędu $\Delta E \sim 1 \text{ GeV}$ charakterystyczny czas interakcji wynosi:

$$\Delta t \sim \frac{\hbar}{\Delta E} \approx 10^{-24} \text{ s}.$$

Brak obserwowanych odchyłeń oznacza, że oddziaływanie kulombowskie zachowuje się stacjonarnie co najmniej do tej skali.

Precyzyjne testy QED. Zgodność teoretycznych i eksperymentalnych wartości anomalii magnetycznej $(g - 2)$ na poziomie 10^{-12} implikuje, że wszelka dynamika ładunku musi zachodzić szybciej niż

$$\tau \sim 10^{-22} - 10^{-23} \text{ s}.$$

Spektroskopia atomowa. Brak dyspersji czasowej oddziaływań elektromagnetycznych do częstotliwości optycznych ($\sim 10^{15} \text{ Hz}$) narzuca słabsze, lecz niezależne ograniczenie:

$$\tau \ll 10^{-15} \text{ s}.$$

13.2 Dolna granica

Najostrzejszym ograniczeniem pozostaje rozpraszanie wysokoenergetyczne. Mocne, konserwatywne oszacowanie dolne brzmi:

$$\tau \lesssim 10^{-24} \text{ s}$$

Jeżeli τ byłby większy, dynamiczne efekty oddziaływania elektromagnetycznego zostałyby już zaobserwowane w istniejących danych.

13.3 Konsekwencje dla modelu

Tokamak. Charakterystyczne częstotliwości pól elektromagnetycznych w tokamaku (kHz–GHz) spełniają:

$$\omega_{\text{tok}} \ll 10^{24} \text{ Hz.}$$

W konsekwencji tokamak jest strukturalnie niezdolny do testowania jakichkolwiek efektów związanych z τ rzędu 10^{-24} s. W tym sensie koncepcja dynamicznego osłabiania bariery kulombowskiej w tokamaku jest wewnętrznie niespójna.

ICF i plazmy laserowe. Impulsowe pola elektromagnetyczne w reżimie femto- i attosekundowym osiągają częstotliwości rzędu:

$$\omega_{\text{laser}} \sim 10^{15} - 10^{18} \text{ Hz,}$$

co nadal pozostaje poniżej mocnej granicy 10^{24} Hz. Z tego powodu efekt dynamiczny nie może ujawniać się w próżni ani w układach bliskich równowagi.

13.4 Jedna z logicznych luk

Model zachowuje sens wyłącznie w scenariuszu, w którym czas relaksacji nie jest uniwersalną stałą, lecz wielkością emergentną zależną od środowiska:

$$\tau = \tau_0 f(\rho, E, \dot{E}),$$

gdzie ekstremalne gęstości, silne pola i brak równowagi mogą prowadzić do lokalnego wydłużenia τ o wiele rzędów wielkości.

W takim przypadku:

- testy QED i akceleratory pozostają nienaruszone,
- tokamak pozostaje nieczuły,
- jedynie ICF i plazmy laserowe mogą potencjalnie dotknąć reżimu dynamicznego.

13.5 Wniosek

Jeżeli τ jest wielkością uniwersalną, model dynamicznego osłabienia oddziaływania kulombowskiego należy uznać za obalony. Jeżeli natomiast τ jest wielkością emergentną i środowiskowo modyfikowalną, model pozostaje wąsko dopuszczalny i potencjalnie testowalny w ekstremalnych warunkach plazmowych.

14 Topologiczne mody własne układu $dK-G-K$ i ich sprzężenie z zewnętrznym polem elektromagnetycznym

14.1 Motywacja

W modelu p–gluonowym ładunek oraz oddziaływanie kulombowskie nie są wielkościami pierwotnymi, lecz efektem stabilnego transferu informacji topologicznej:

$$dK \xrightarrow{G} K.$$

Element $Z1$ odpowiada za istnienie uporządkowanej informacji, natomiast oddziaływanie elektromagnetyczne jest jej manifestacją brzegową. Celem niniejszej sekcji nie jest „usunięcie” ani „wyłączenie” $Z1$, lecz zbadanie, czy możliwe jest dynamiczne *rozstrojenie* kanału transferu poprzez zewnętrzne pole EM.

14.2 Układ $dK-G-K$ jako obiekt rezonansowy

Struktura $dK-G-K$ jest procesem cyklicznym i posiada naturalne skale czasowe:

- τ_{dK} — charakterystyczny czas cyklu wewnętrznego,
- τ_G — czas transferu topologicznego przez wstęgę Möbiusa,
- τ_K — czas odpowiedzi brzegu (manifestacja oddziaływania).

Z punktu widzenia dynamiki informacyjnej układ ten zachowuje się jak obiekt rezonansowy, analogiczny do struny lub wnęki:

$$\omega_n \sim \frac{n}{\tau_{\text{eff}}}, \quad \tau_{\text{eff}}^{-1} \sim \tau_{dK}^{-1} \oplus \tau_G^{-1} \oplus \tau_K^{-1}.$$

14.3 Sprzężenie z polem elektromagnetycznym

Zewnętrzne pole elektromagnetyczne nie oddziałuje bezpośrednio na $Z1$, lecz na brzeg K , który pełni rolę interfejsu obserwowalnego. Pole EM wprowadza dodatkową modulację fazową:

$$\phi_K(t) \rightarrow \phi_K(t) + \delta\phi_{\text{EM}}(t),$$

co propaguje się wstecz przez G do cyklu dK .

Kluczowy warunek sonarowy:

$$\omega_{\text{EM}} \gtrsim \tau_G^{-1} \quad \text{lub} \quad \omega_{\text{EM}} \sim \omega_n.$$

14.4 Reżimy dynamiczne

W zależności od relacji częstotliwości wyróżniamy trzy jakościowo różne reżimy:

(A) Rezonans konstruktywny Faza transferu zostaje zsynchronizowana. Oddziaływanie kulombowskie ulega wzmocnieniu. Reżim niekorzystny dla syntezy.

(B) Rozstrojenie (antyrezonans) Brzeg K próbuje śledzić szybkozmienne pole EM, podczas gdy dK zachowuje własną dynamikę. Transfer informacji ulega częściowej dekoherencji:

$$\langle Q_{\text{eff}} \rangle < Q.$$

Nie następuje zmiana znaku ani wartości fundamentalnej ładunku, lecz osłabienie jego skutecznej projekcji dynamicznej.

(C) Chaos modalny Wzbudzenie wielu modów jednocześnie prowadzi do niestabilnej relacji fazowej $dK-K$. Oddziaływanie kulombowskie przestaje być sztywną barierą statyczną i staje się procesem czasowo zmiennym.

14.5 Interpretacja fizyczna

Proponowany mechanizm nie narusza:

- istnienia $Z1$,
- kwantowania ładunku,
- lokalnej struktury QED.

Zmienia jedynie *przepustowość dynamiczną* kanału topologicznego, analogicznie do:

uderzenia w obudowę starego odbiornika — bez zrozumienia wszystkich połączeń, lecz z realnym wpływem na działanie układu.

14.6 Znaczenie dla syntezy termojądrowej

Jeżeli w plazmie:

$$\omega_{\text{EM}} \gtrsim \tau_G^{-1},$$

to oddziaływanie kulombowskie pomiędzy protonami może ulec czasowemu osłabieniu, nie przez ekranowanie statyczne, lecz przez dekoherencję topologiczną. Bariera p–p nie jest ekranowana statycznie, lecz może przestać zachowywać się jak sztywna, czasowo spójna przeszkoda, co prowadzi do jej dynamicznej modyfikacji.

14.7 Ograniczenia

- Mechanizm nie działa w stanie ustalonym.
- Wymaga impulsów lub szybkich oscylacji.
- Tokamaki, z racji aktywnej stabilizacji pól, naturalnie dążą do sztywnej synchronizacji faz — co działa przeciwko temu efektowi.

14.8 Wniosek sonarowy

Układ $dK-G-K$ należy traktować jak obiekt o skończonym paśmie dynamicznym. Zewnętrzne pole EM nie musi niszczyć struktury, aby wpłynąć na oddziaływanie — wystarczy, że wejdzie w konkurencję czasową z topologicznym transferem informacji.

15 Dolne oszacowanie czasu τ_G z danych ICF i laser–plasma

Doprecyzowanie skal czasowych. Czas relaksacji τ , ograniczany przez wysokoprecyzyjne testy QED oraz eksperymenty rozpraszania, odnosi się do stacjonarności oddziaływań elektromagnetycznych w próżni oraz w warunkach bliskich równowagi. Nie zakłada się, że jest on tożsamy z emergentnym czasem transferu τ_G wewnętrznego kanału oddziaływania rozważanego w niniejszej pracy, który postulowany jest wyłącznie w silnie wymuszonych, nierównowagowych środowiskach plazmowych. Rozróżnienie to odzwierciedla fakt, że odmienne reżimy fizyczne mogą sondować różne wewnętrzne kanały odpowiedzi układu.

15.1 Znaczenie czasu τ_G

W modelu p–gluonowym czas τ_G interpretujemy jako minimalny czas potrzebny na stabilny transfer informacji topologicznej z cyklu wewnętrznego do brzegu, który manifestuje się jako oddziaływanie elektromagnetyczne. Nie jest to czas Plancka ani czas relaksacji makroskopowej, lecz skala pośrednia, dostępna eksperymentom impulsowym.

15.2 Empiryczne ograniczenia dolne

Dane z eksperymentów laser–plasma i ICF (NIF, OMEGA, LULI) narzucają twarde granice czasowe:

- **Czas narastania impulsów laserowych:**

$$\tau_{\text{rise}} \sim 10^{-14} - 10^{-13} \text{ s.}$$

Impulsy krótsze nie sprzęgają się efektywnie z plazmą objętościową.

- **Dynamiczne ekranowanie kulombowskie:**

$$\tau_{\text{screen}} \sim 10^{-15} - 10^{-14} \text{ s.}$$

Poniżej tej skali plazma nie nadąża z reorganizacją pól.

- **Rozwój mikroinstabilności elektromagnetycznych:**

$$\tau_{\text{inst}} \sim 10^{-13} - 10^{-12} \text{ s.}$$

Są to najkrótsze czasy, w których obserwuje się realną zmianę konfiguracji pól w plazmie.

15.3 Dolne oszacowanie sonarowe

Łącząc powyższe ograniczenia, otrzymujemy sonarowe dolne oszacowanie:

$$\tau_G^{\text{min}} \sim 10^{-14} \text{ s}$$

Z sensownym pasmem roboczym:

$$10^{-14} \text{ s} \lesssim \tau_G \lesssim 10^{-12} \text{ s.}$$

15.4 Implikacje

- Efekt nie może działać w reżimie stacjonarnym.
- Układy typu tokamak, z długimi czasami i aktywną stabilizacją pól, naturalnie wygaszają ten mechanizm.
- Środowiskiem, w którym opisywany efekt mógłby się potencjalnie ujawnić, są plazmy impulsowe, w szczególności ICF.

15.5 Wniosek

Jeżeli τ_G leży w powyższym zakresie, to zewnętrzne pole EM może konkurować czasowo z mechanizmem transferu oddziaływania, prowadząc do jego dynamicznego rozstrojenia, bez naruszania fundamentalnej struktury ładunku.

16 Dynamic Effective Charge $Q_{\text{eff}}(\omega)$ jako opis alternatywny

16.1 Motywacja

Aby uniezależnić opis od ontologii p-gluonowej, wprowadzamy język efektywnego, dynamicznego ładunku, który może być bezpośrednio porównywany z formalizmem fizyki plazmy i QED.

16.2 Definicja

Definiujemy efektywny ładunek dynamiczny jako:

$$Q_{\text{eff}}(\omega) = Q \cdot \eta(\omega),$$

gdzie:

- Q — fundamentalny, niezmienny ładunek,
- $\eta(\omega)$ — funkcja przenoszenia oddziaływania,

$$0 < \eta(\omega) \leq 1.$$

16.3 Znaczenie fizyczne

Funkcja $\eta(\omega)$ opisuje skuteczność projekcji ładunku na oddziaływanie w obecności szybko-zmiennego pola EM. Nie zmienia ona wartości ładunku, lecz jego zdolność do generowania siły kulombowskiej w danym reżimie częstotliwości.

16.4 Warunek rozstrojenia

Zakładamy istnienie charakterystycznej częstotliwości:

$$\omega_G \sim \tau_G^{-1},$$

takiej że:

$$\eta(\omega) \approx \begin{cases} 1, & \omega \ll \omega_G, \\ < 1, & \omega \sim \omega_G, \\ \text{oscylacyjna}, & \omega \gg \omega_G. \end{cases}$$

W pobliżu $\omega \sim \omega_G$ skuteczny ładunek ulega osłabieniu:

$$\langle Q_{\text{eff}} \rangle < Q.$$

16.5 Oddziaływanie kulombowskie

Siła kulombowska przyjmuje postać:

$$F_{pp}(\omega) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_{\text{eff}}^2(\omega)}{r^2},$$

co oznacza, że nawet niewielkie obniżenie $\eta(\omega)$ prowadzi do kwadratowego osłabienia bariery p-p.

16.6 Interpretacja dynamiczna

- Oddziaływanie kulombowskie nie jest statyczną barierą, lecz procesem.
- W reżimie impulsowym staje się czasowo niestabilne.
- Mechanizm nie wymaga ekranowania Debye'a ani zmiany struktury cząstek.

16.7 Tokamak vs. ICF

- Tokamak: aktywna stabilizacja pól $\Rightarrow \eta(\omega) \rightarrow 1$.
- ICF: impulsy, szerokie widmo $\Rightarrow \eta(\omega) < 1$ w krótkich oknach czasowych.

16.8 Wniosek

Opis poprzez $Q_{\text{eff}}(\omega)$ zachowuje pełną zgodność z fizyką akademicką, a jednocześnie koduje tę samą ideę sonarową: osłabienie oddziaływania kulombowskiego jako efekt dynamiczny, a nie strukturalny.

17 Dlaczego tokamak sam zabija efekt dynamicznego osłabienia oddziaływania

17.1 Wprowadzenie

W poprzednich sekcjach rozważano możliwość dynamicznego osłabienia oddziaływania kulombowskiego poprzez szybkie oscylacje pola elektromagnetycznego, prowadzące do rozstrojenia mechanizmu transferu oddziaływania lub — w języku efektywnym — do obniżenia $Q_{\text{eff}}(\omega)$. Ninijsza sekcja ma charakter krytyczny: pokazuje, dlaczego klasyczny tokamak jest środowiskiem, które *systemowo tłumi* ten efekt.

17.2 Tokamak jako układ fazowo-sztywny

Tokamak nie jest swobodnym układem plazmowym. Jest systemem silnie sprzężonym zwrotnie, zaprojektowanym w celu maksymalnej stabilizacji fazowej pól magnetycznych i prądów plazmowych. W szczególności:

- pole magnetyczne ma narzuconą topologię i orientację,
- prądy plazmowe są aktywnie kontrolowane,
- fluktuacje są tłumione przez sprzężenia MHD i pętle regulacyjne.

Z punktu widzenia dynamiki oddziaływania oznacza to, że tokamak narzuca warunek:

$$\eta(\omega) \rightarrow 1,$$

czyli wymusza pełną projekcję ładunku na oddziaływanie.

17.3 Rozjazd skal czasowych

Kluczowym problemem jest rozjazd skal czasowych:

$$\tau_{\text{tokamak}} \gg \tau_G \sim 10^{-14}\text{--}10^{-12}\text{ s}.$$

Charakterystyczne czasy w tokamaku:

- ewolucja MHD: $10^{-6}\text{--}10^{-3}\text{ s}$,
- regulacja pól: $\gtrsim 10^{-5}\text{ s}$,
- fluktuacje turbulentne: $\gtrsim 10^{-9}\text{ s}$.

Wszystkie te skale są o wiele rzędów wielkości dłuższe niż czas τ_G , przy którym mógłby wystąpić efekt rozstrojenia.

17.4 Aktywna synchronizacja zamiast rozstrojenia

Tokamak działa jak układ z wymuszonym zegarem:

- pole magnetyczne narzuca globalną fazę,
- plazma adaptuje się do tej fazy,
- lokalne oscylacje są szybko wygaszane.

Z perspektywy modelu oznacza to, że zamiast konkurencji czasowej:

$$\omega_{\text{EM}} \sim \tau_G^{-1},$$

otrzymujemy sztywną synchronizację:

$$\omega_{\text{plazmy}} \ll \tau_G^{-1}.$$

Układ nie wchodzi w rezonans ani antyrezonans — zostaje *przefazowany* do stanu stacjonarnego.

17.5 Paradoks stabilizacji

Tokamak jest projektowany tak, aby:

- minimalizować fluktuacje,
- tłumić szybkie zmiany fazy,
- utrzymywać jednorodne oddziaływania.

Dokładnie te cechy, które są niezbędne do stabilnej eksploatacji tokamaka, są jednocześnie zabójcze dla efektu dynamicznego osłabienia oddziaływania.

17.6 Interpretacja sonarowa

W języku sonarowym tokamak:

nie pozwala „uderzyć w obudowę”, ponieważ cała obudowa jest aktywnie usztywniana i amortyzowana w czasie rzeczywistym.

Każda próba wprowadzenia szybkiej modulacji jest:

- uśredniana,
- ekranowana,
- rozpraszana przez sprzężenia MHD.

17.7 Konsekwencje dla syntezy

Wynika stąd, że:

- brak zapłonu w tokamakach nie musi wynikać wyłącznie z niedoskonałości technologii,
- może być konsekwencją fundamentalnej niezgodności reżimu stacjonarnego z mechanizmami impulsowymi,
- próby „naprawy” tokamaka poprzez dalszą stabilizację mogą działać przeciwko zapłonowi.

17.8 Wniosek

Jeżeli efekt dynamicznego osłabienia oddziaływania istnieje, to tokamak jest środowiskiem, które go systemowo eliminuje. Nie dlatego, że efekt jest błędny, lecz dlatego, że tokamak został zaprojektowany tak, aby nic nie działało się szybko.

18 Koncepcja „anty–tokamaka” w języku dynamicznego oddziaływania

18.1 Definicja robocza

Przez „anty–tokamak” rozumiemy nie urządzenie o przeciwnej geometrii, lecz *układ plazmowy zaprojektowany tak, aby **nie narzucać** globalnej synchronizacji fazowej pól i prądów*. Celem nie jest stabilność długoczasowa, lecz dopuszczenie krótkotrwałych reżimów konkurencji czasowej.

18.2 Zasada przeciwna do tokamaka

Tokamak realizuje warunek:

$$\eta(\omega) \rightarrow 1 \quad \text{dla wszystkich } \omega \text{ istotnych.}$$

Anty–tokamak realizuje warunek:

$$\exists \omega^* : \eta(\omega^*) < 1 \quad \text{w krótkich oknach czasowych.}$$

Nie chodzi o trwałe obniżenie oddziaływania, lecz o jego *chwilową niespójność fazową*.

18.3 Cechy dynamiczne anty–tokamaka

Anty–tokamak spełnia możliwie wiele z poniższych warunków:

- brak globalnej pętli stabilizacji fazy,
- silne, krótkie impulsy pola EM zamiast pól stacjonarnych,
- szerokopasmowe widmo częstotliwości,
- brak długoczasowego porządku topologicznego pól.

W języku czasowym:

$$\Delta t_{\text{impuls}} \lesssim \tau_G.$$

18.4 Rola chaosu kontrolowanego

W przeciwieństwie do tokamaka, anty–tokamak:

- nie tłumi lokalnych fluktuacji,
- pozwala na chwilowe zerwanie spójności fazowej,
- wykorzystuje chaos jako narzędzie, a nie błąd.

Chaos jest tutaj *funkcjonalny*, a nie destrukcyjny.

18.5 Przykłady systemów zbliżonych do anty–tokamaka

Żadne z poniższych nie są anty–tokamakami w pełnym sensie, ale każdy realizuje fragment tej logiki:

- ICF (laser–driven fusion),
- Z–pinch w reżimie impulsowym,
- plazmy generowane ultrakrótkimi impulsami laserowymi,
- dynamiczne komory implozyjne.

Wszystkie one:

$$\text{dopuszczają } \omega \sim \tau_G^{-1}.$$

18.6 Oddziaływanie kulombowskie w anty-tokamaku

Efektywna bariera p-p ma postać:

$$F_{pp}(\omega, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2 \eta^2(\omega, t)}{r^2},$$

gdzie $\eta(\omega, t)$ jest zmienna w czasie i przestrzeni.

Zapłon nie wynika z trwałego obniżenia bariery, lecz z faktu, że *reakcja zachodzi szybciej, niż układ zdąży się zsynchronizować*.

18.7 Dlaczego anty-tokamak nie jest stabilny

Anty-tokamak:

- nie utrzymuje plazmy długo,
- nie jest przewidywalny w sensie MHD,
- nie nadaje się do pracy ciągłej.

I dokładnie dlatego *może* osiągać stany niedostępne tokamakom.

19 Podsumowanie sonarowe i granica sensowności modelu

19.1 Zakres i ambicja modelu

Przedstawiona analiza miała charakter sonarowy: jej celem nie było zbudowanie pełnej teorii syntezy ani alternatywy dla ustalonej fizyki, lecz identyfikacja potencjalnych reżimów dynamicznych, które mogą być niewidoczne w opisie stacjonarnym.

Model operuje świadomie na poziomie:

- konkurencji skal czasowych,
- dynamiki oddziaływań zamiast ich struktury,
- chwilowych reżimów zamiast stanów ustalonych.

19.2 Tokamak vs. anty-tokamak

Tokamak został zidentyfikowany jako układ, który:

- narzuca globalny porządek fazowy,
- aktywnie tłumi fluktuacje,
- wymusza $\eta(\omega) \rightarrow 1$.

W tym sensie tokamak jest urządzeniem porządku, nie czasu. Jeżeli zapłon wymaga chwilowej niespójności oddziaływań, tokamak systemowo taki reżim eliminuje.

Anty-tokamak nie jest konkurencyjną technologią, lecz inną klasą układów: impulsowych, niesynchronizowanych i krótkotrwałych, w których konkurencja czasowa może zaistnieć.

19.3 Język $Q_{\text{eff}}(\omega)$

Przepisanie idei na język dynamicznego efektywnego ładunku pozwala oderwać się od ontologii modelowej i zachować zgodność z aparatem fizyki akademickiej.

W tym ujęciu:

- ładunek fundamentalny pozostaje niezmienny,
- modyfikacji ulega jedynie skuteczność oddziaływania,
- osłabienie bariery kulombowskiej ma charakter dynamiczny, a nie strukturalny.

Model nie postuluje „wyłączenia” oddziaływań, lecz ich czasowego rozstrojenia.

19.4 Kluczowy warunek falsyfikacji

Całość rozumowania sprowadza się do jednego, ostrego warunku:

Jeżeli ładunek elektryczny nie posiada żadnej wewnętrznej skali czasowej relaksacji, model upada.

Jeżeli jednak istnieje nawet ekstremalnie krótki czas τ_G , rzędu 10^{-14} – 10^{-12} s, wówczas dynamiczne sterowanie oddziaływaniem kulombowskim staje się logiczną — choć trudną — możliwością.

19.5 Status końcowy

Model:

- nie dowodzi istnienia efektu,
- nie gwarantuje zapłonu,
- nie zastępuje obliczeń ani eksperymentu.

Pełni on rolę sondy konceptualnej, która wskazuje:

- gdzie szukać,
- jakich skal czasowych dotyczy problem,
- dlaczego pewne klasy urządzeń mogą być z definicji ślepe na dany mechanizm.

W tym sensie sonar spełnił swoją rolę.

Literatura

- [1] J. D. Lawson, *Some Criteria for a Power Producing Thermonuclear Reactor*, Proceedings of the Physical Society. Section B **70**, 6 (1957).
- [2] E. E. Salpeter, *Electron Screening and Thermonuclear Reactions*, Australian Journal of Physics **7**, 373 (1954).
- [3] A. Okupski. *The Electron from a Pencil Case*. Zenodo, 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17781652>.
- [4] A. Okupski. *Intuitive Physics*. Zenodo, 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17665571>.
- [5] A. Okupski. *Gravitomagnetism as an Emergent Geometric Phenomenon*. Zenodo, 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17508247>.

- [6] A. Okupski. *Cube in the Land of Quanta*. Zenodo, 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17866908>.
- [7] A. Okupski. *The Proton from a Pencil Case*. Zenodo, 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17841644>.
- [8] A. Okupski. *Why Tokamaks Cannot Ignite Thermonuclear Fusion*. Zenodo, 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17790253>.