

Technologie alternatywne i technologie przyszłości, część 1

Przedstawiamy pierwszą część artykułu opartego na książce „Bebop to the Boolean Boogie“, w którym zostały omówione najbardziej fascynujące technologie stosowane we współczesnej elektronice.

Elektronika stanowi jedną z najbardziej ekscytujących dziedzin techniki, a rewolucyjne zmiany oraz przemiany o bardziej łagodnym charakterze towarzyszą jej codziennie. Niektóre z tych nowinek technologicznych pojawiają się nieśmiało i się nie narzucają. Niektóre krótko po pojawieniu znikają na zawsze. Inne uparcie powracają co pewien czas w nieco zmienionych postaciach. Jeszcze inne zjawiają się i bardzo szybko, wśród powszechnego aplauzu, dołączają do głównego nurtu rozwoju elektroniki i niemal z dnia na dzień stają się jego trwałym elementem.

W tym artykule przedstawiamy tygiel technologii, z których wiele dotarło już na rynek, inne zaś znajdują się jeszcze na etapie badań i opracowań. Nawet najbardziej niewiarygodne spośród przedstawionych poniżej pomysłów doczekały się eksperymentalnej weryfikacji, ale natura jest bardzo surowym sędzią i naturalna selekcja pozwala przetrwać tylko najlepszym. Choć niektóre z przedstawionych poniżej idei mogą wydać się co najmniej dziwne, trzeba pamiętać, że dobry inżynier jest w stanie wpaść na trzy nierealne pomysły jeszcze przed śniadaniem. Nie wolno także zapominać o tym, że to pesymiści stwierdzili, że trzmielie nie mogą latać (choć oczywiście latają) i że człowiek nigdy nie wyląduje na Księżycu.

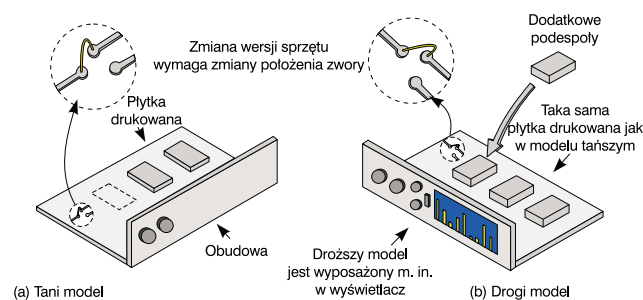
Rekonfigurowalny sprzęt i połączenia

Terminu „sprzęt“ („hardware“) używa się na ogół w odniesieniu do fizycznych elementów wchodzących w skład systemu elektronicznego, włączając w to podzespoły elektro-

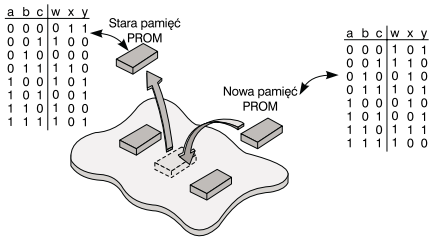
niczne, karty, zasilacze, obudowy i monitory. Poniższa dyskusja dotyczyć będzie części tego zbioru, obejmującej płytki drukowane, podzespoły elektroniczne oraz połączenia między nimi.

Niestety, termin „rekonfigurowalny sprzęt“ jest w pewnym sensie bliski określeniu „skarpetki, które się nie rozciągają“. Dla różnych ludzi oba określenia mają różne znaczenie. Dla osób młodych, o nieskażonej psychice, termin „skarpetki, które się nie rozciągają“ ma znaczenie dosłowne - chodzi o skarpetki, które się nie rozciągną. Jednak dla osób nieco starszych, mających więcej doświadczenia życiowego, a może nawet bardziej pesymistycznie patrzących na życie, termin ten oznacza, że chodzi o skarpetki, które rozciągną się, a tylko przez pewien czas będą usiłowały przeciwstawić się temu. Analogicznie, określenie „rekonfigurowalny“ może być interpretowane na wiele sposobów, zależnie od punktu widzenia.

Zacząć można od interpretacji terminu „rekonfigurowalny“ jako oznaczającego sprzęt elektroniczny, którego działanie może być dostosowane do konkretnego systemu lub zastosowania. Wykonanie produktu, który może być wielokrotnie dostosowywany do różnych zastosowań ma oczywiście zalety w porównaniu z wykonywaniem wielu produktów przeznaczonych do konkretnych zastosowań. Problem stanowi jednak to, że określenie „rekonfigurowalny“ stosowane jest w odniesieniu do czegoś nieustannie ewoluującego wraz z pojawianiem się nowych technik i technologii. Przez większą część lat 80. najbardziej zaawansowanym rekonfigurowalnym sprzętem były produkty wykorzystujące programowalne układy logiczne PLD, takie jak: PROM, PLA i PAL, oraz warianty pamięci stałej, takie jak: PROM, EPROM i EEPROM. Urządzenia z tego rodzaju układami były zwykle zo-



Rys. 1.



Rys. 2.

rientowane na pewne zastosowania, po czym dostosowywano je do konkretnych przypadków. Pojawienie się na przełomie lat 80. i 90. układów FPGA oznaczało początek epoki produktów niemal całkowicie dostosowywalnych do konkretnych zadań.

Jak zapewne domyślili się nasi Czytelnicy, książka „Bebop to the Boolean Boogie“ nie jest tylko prostym opisem istniejącej obecnej sytuacji, ale także próbą pokazania, w jaki sposób sytuacja ta powstała. Jak się jednak okazuje, tempo rozwoju technologii od chwili powstania układów scalonych sprawia szczególne problemy, zwłaszcza w przypadku rekonfigurowalnych układów logicznych, ponieważ nie istnieje terminologia mogąca poszczycić się choć trochę dłuższym okresem funkcjonowania. Aby dalsza prezentacja mogła mieć spójny charakter, autor proponuje przyjęcie następującej terminologii:

Konfigurowalny sprzęt - produkt, którego działanie może być dostosowane do wymagań zastosowania raz lub kilka razy.

Rekonfigurowalny sprzęt - produkt, którego działanie może być dostosowane do wymagań zastosowania wielokrotnie.

Zdalnie rekonfigurowalny sprzęt - produkt, którego działanie może być dostosowane do wymagań zdalnie, przez telefon lub drogą radiową, a produkt pozostaje przez cały czas w systemie.

Dynamicznie rekonfigurowalny sprzęt - produkt, którego działanie może być dostosowane do wymagań zdalnie podczas funkcjonowania, a produkt pozostaje przez cały czas w systemie.

Sprzęt wirtualny - rozszerzenie pojęcia dynamicznej rekonfigurowalności.

Teraz, po uzbrojeniu się w godne zaufania definicje, nie pozostaje nam nic innego jak odważnie rozpocząć klasyfikację sprzętu, którego cel istnienia może zostać zmieniony przez pustą zachciankę.

Sprzęt konfigurowalny

Klasykny przykład jednokrotnie konfigurowalnego sprzętu stanowi samochodowy odbiornik radiowy. Może on występować w kilku wersjach (rys. 1): taniej - dla nabywcy zainteresowanego przede wszystkim ochroną swego portfela, średniej - dla młodego człowieka wybierającego się na samochodowe przejażdżki po mieście i wreszcie w wersji wyposażonej we wszystkie wodotryski, przeznaczonej dla biznesmena, który lubi pochwalić się także swoim złotym Rolexem.

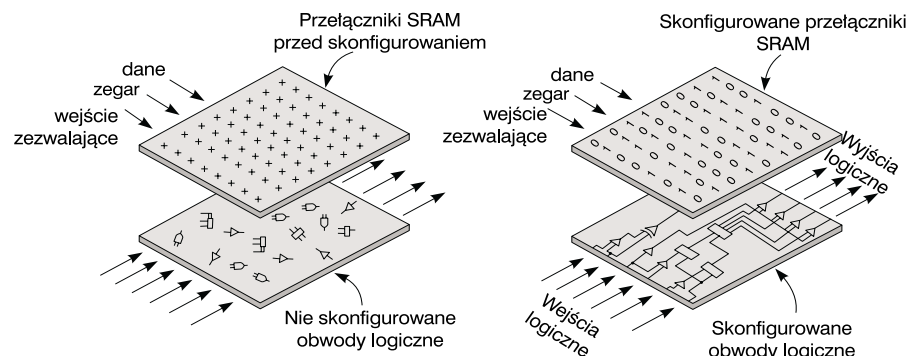
Nie zdają sobie oni jednak sprawy z faktu, że wszystkie te modele zostały wykonane z użyciem identycznych płytek drukowanych, a różnice w ich konfiguracji polegają na użyciu (bądź nie) pewnych podzespołów i przestawieniu położenia przełączników lub zworek. W rzeczywistości, w niektórych przypadkach jedyną istotną różnicą między różnymi modelami radioodbiornika samochodowego jest jakość wykonania obudowy oraz liczba klawiszy i pokręteł, w które są one wyposażone. Z punktu widzenia producenta, płytki drukowane używane w tych radioodbiornikach są konfigurowalne, natomiast z perspektywy ich użytkowników ich funkcjonowanie jest niezmiennie.

Podobnym przykładem może być zegarek cyfrowy. Jednym z męczących aspektów ery elektroniki jest nieunikniony kontakt z kimś, komu ogromnie zależy na opowiedzeniu nam tysiąca szczegółów dotyczących funkcjonowania jego nowego zegarka, który może podawać czas obowiązujący w wielu różnych strefach czasowych, potrafi zagrać kilkanaście melodyjek i dodatkowo posiada wbudowany kalkulator konkurujący z pulpitem sterowania statku kosmicznego - a my oczywiście nie chcemy nic o tym wiedzieć.

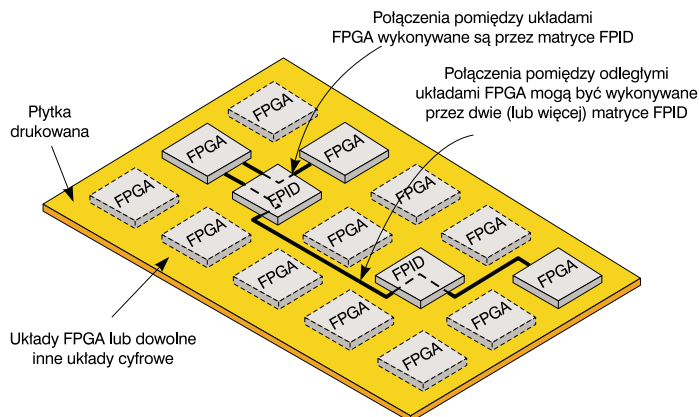
Dziwnym zbiegiem okoliczności lub z wyroku przeznaczenia, takie wydarzenie przytrafia się najczęściej wtedy, gdy nosimy zegarek otrzymany jako upominek dołączony do opakowania płatków zbożowych.

Nie należy jednak wpadać z tego powodu w kompleksy, ponieważ jest bardzo prawdopodobne, że oba te zegarki noszą w sobie taki sam układ scalony. W przypadku tańszego modelu stały potencjał podany na jedno z wejść tego układu sprawia, że urządzenie zachowuje się jak przystało na sympatyczne i tanie. Także i tym razem cała różnica leży w obudowie i w metce z ceną.

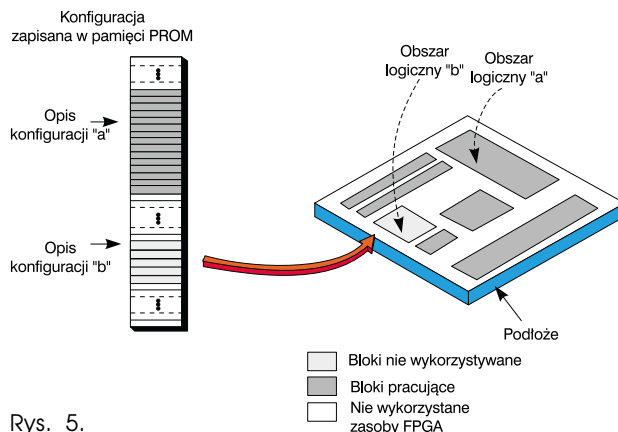
Końcowy przykład konfigurowalnego sprzętu może wywołać niechętnie reakcje niektórych znanych producentów komputerów, którzy proponują klientom wybór między modelem szybkim, luksusowym i droгим, a tańszym i wolniejszym. Jednakowoż, z czego w swej naiwności nabywcy nie zdają sobie sprawy, cała różnica leży w położeniu przełącznika znajdującego się na płycie głównej. Zależnie od niego zegar systemu pracuje z pełną szybkością lub tylko z jej połową. Jeśli posiadacz wolniejszego komputera decyduje się na upgrade, znaczne kwoty pieniędzy zmieniają właściciela, do Niebios zanesione zostaną stosowne modły, a wreszcie pojawia się specjalista od komputerów. Poczyniwszy przygotowania do wymiany płyt, inżynier nagle zrywa się na równe nogi, wskazuje palcem okno krzyżąc „Dobry Boże! Co to takiego!“, po czym, podczas gdy wszyscy będą patrzeć w okno, zmienia położenie przełącznika i wysuwa nieco płytę z komputera. Nikt oczywiście się nie zorientuje, co się stało. Historyjka ta dotyczy osób, które uważają elektronikę za nieciekawą i nudną.



Rys. 3.



Rys. 4.



Rys. 5.

Sprzęt rekonfigurowalny

Sprzęt wyłącznie konfigurowalny ma ograniczenia, ponieważ jego wszystkie możliwości wynikają z jego podstawowej konfiguracji, która powinna uwzględniać wszystkie potencjalne zastosowania. Użycie programowalnych układów stanowi jedną z technik umożliwiających wyprodukowanie wyrobu, którego działanie będzie mogło wykraczać poza ramy określone na etapie projektowania. Np. PROM może być wykorzystany jako tabela prawdy (rys. 2).

Analogicznie, w układzie PLA (ang. Programmable Logic Array) może zostać zaimplementowany automat wykonujący pewną sekwencję czynności, ewentualnie układ PAL (ang. Programmable Array Logic) może posłużyć do zrealizowania pewnych równań logicznych i wygenerowania odpowiednich stanów wyjściowych. We wszystkich tych przypadkach zarówno tablica prawdy, sekwencja stanów automatu czy równania logiczne mogą być zmodyfikowane przez prostą wymianę układu na nowy.

Innym rozwiązaniem może być wykorzystanie pamięci stałych (nieulotnych) do przechowywania oprogramowania wykonywanego przez mikroprocesor lub mikrokontroler. Przykładem może być zestaw instrukcji wykorzystywany przez mikroprocesor do odegrania hymnu narodowego lub melodijki dzwonek do drzwi. Różne wersje pamięci PROM pozwolą na sprzedaż wyrobu w różnych krajach (miejmy nadzieję, że hymny trafią we właściwe miejsca). W krajach, w których rewolucje są czymś codziennym, łatwo będzie zmienić PROM i dostosować wyrób do wymagań chwili.

Stałe pamięci, które można wykorzystać w taki sposób, obejmują następujące rodzaje technologii:

- pamięci: PROM, EPROM, EEPROM lub FLASH,
- układy programowalne: PLD, EPLD, E²PLD lub FLASH-PLD.

We wszystkich tych przypadkach kartę należy traktować jako rekonfigurowalną, układ PROM - jako konfigurowalny, natomiast układy EPROM, E²PROM i FLASH - jako rekonfigurowalne. Podobnie jako konfigurowalny będzie traktowany układ PLD w porównaniu z rekonfigurowalnymi EPL, E²PLD i FLASH-PLD. Ponadto, układy typu E². i FLASH mogą być traktowane jako programowalne w systemie, ponieważ mogą zostać przeprogramowane bez wyjmowania ich z płyty.

Sprzęt rekonfigurowalny dynamicznie

Pojawienie się w końcu lat 80. i na początku 90. układów FPGA (SRAM) oznaczało nową możliwość dla elektroników: dynamiczne rekonfigurowanie sprzętu, czyli urządzeń rekonfigurowalnych podczas działania.

Układy FPGA zawierają dużo bramek logicznych i rejestrów, (rys. 3), które łączone w różny sposób pozwalają na realizację żądanych funkcji. Układy takie wykonane w technologii SRAM mają szersze możliwości w tym sensie, że nowe dane ładowane są do układu z systemu głównego w ciągu ułamka sekundy. Kilka wyprowadzeń zewnętrznych jest przeznaczonych do ładowania danych, w tym wejście zezwolenia i wejście sygnału taktującego to wprowadzanie. Gdy na wejście zezwolenia podany zostanie odpowiedni stan, kolejne z bocznej sygnału taktującego powodują szeregowe wprowadzanie strumienia 0 i 1 do pamięci SRAM urządzenia. Choć wszystkie bramki lo-

giczne oraz pamięć SRAM wykonane zostały na tej samej płytce podłoża krzemowego, to ze względu na funkcjonowanie wygodnie jest traktować układ jako posiadający dwie warstwy: bramki logiczne oraz programowalne „przełączniki“ SRAM.

Elastyczność tych układów stwarza ogromne możliwości. Na przykład, można tworzyć płytki, których interfejsy mogą zostać skonfigurowane do pracy z różnymi protokołami transmisji lub urządzenia funkcjonujące jako cyfrowe procesory sygnałowe, których algorytmy mogą być zmieniane i służyć do różnego rodzaju przetwarzania. Wraz z pojawianiem się nowych protokołów lub algorytmów przetwarzania, wzorce konfigurujące układy FPGA mogą być zmieniane, umożliwiając korzystanie z tych nowych osiągnięć.

Największą zaletą tych urządzeń, określanych mianem „rekonfigurowalnych w układzie“ (ang. ICR - in-circuit-reconfigurable), tkwi w tym, że mogą być one rekonfigurowane podczas pracy. Na przykład, system po włączeniu może skonfigurować wszystkie układy FPGA do przeprowadzenia testów diagnostycznych systemu i płytek. Po jego zakończeniu system w sposób dynamiczny rekonfiguruje FPGA do działania wynikającego z podstawowych zadań systemu.

Innym przykładem może być pocisk samosterujący Tomahawk, który wykorzystuje inne techniki do sterowania swym lotem, jeśli znajduje się nad wodą, a inne, jeśli znajduje się nad lądem. Gdy Tomahawk przelatuje nad granicą lądu i wody, jego układy FPGA zostają dynamicznie zrekonfigurowane, zmieniając sposób nawigacji w ciągu ułamka sekundy.

Dynamicznie rekonfigurowalne połączenie

Jak bardzo nie byłyby wspaniałe, wspomniane wyżej techniki zaledwie muskają możliwości oferowane przez powstające obecnie technologie. Projektanci najbardziej chcieliby projektować produkty na poziomie kart, które można byłoby rekonfigurować i zapewniać realizację zdecydowanie ulepszonych lub zupełnie innych funkcji niż te, z myślą o których ów sprzęt był projektowany. Tym, co umożliwia takie rozwiązanie, jest dynamiczne rekonfigurowanie połączeń między układami na płytkach.

Powstał nowy rodzaj układów oferujących taką możliwość, tzw. układy połączeniowe programowalne u użytkownika (ang. Field-Programmable Interconnect Devices - FPID lub Field-Programmable Interconnect Chips FPIC). Układy te, służące do łączenia układów logicznych, mogą być dynamicznie rekonfigurowane w taki sam sposób, jak standardowe układy FPGA SRAM (rys. 4). Ponieważ typowy układ FPID liczy sobie około 1000 wyprowadzeń, na płytce znajduje się ich zazwyczaj tylko kilka.

W rzeczywistości zastosowania przedstawionych tu koncepcji nie dotyczą wyłącznie poziomu płytki. Każda z omówionych technologii może zostać zastosowana w układach hybrydowych i modułach wieloukładowych. Ponadto, w dającej się przewidzieć przyszłości, dostępne staną się układy ASIC wielkiej skali integracji, łączące mikroprocesory, bloki pamięciowe i funkcje komunikacyjne z funkcjami typu FPGA i FPID.

Sprzęt wirtualny

Główne ograniczenie większości układów FPGA wykorzystujących pamięci SRAM stanowi konieczność jednorazowego załadowania wszystkich danych. Zazwyczaj na czas rekonfigurowania konieczne jest zatrzymanie pracy urządzenia. Ponadto, zawartość wszelkich znajdujących się w FPGA rejestrów zostaje nieodwracalnie utracona. Aby rozwiązać te problemy, około 1994 roku wprowadzono nową generację układów FPGA. Oprócz dynamicznej rekonfigurowalności układy te zapewniają następujące możliwości:

- ciągłość połączeń wejść i wyjść układu,
- ciągłość taktowania systemowego,
- ciągłość pracy wszystkich części układu nie podlegających rekonfiguracji,
- zachowanie zawartości rejestrów podczas rekonfiguracji, nawet w obszarze rekonfigurowanym.

Ta ostatnia możliwość jest szczególnie interesująca, ponieważ pozwala na przekazanie danych z funkcji z poprzedniej konfiguracji do następnej. Na przykład, grupa rejestrów może funkcjonować początkowo jako licznik binarny. Następnie, w momencie określonym przez system centralny, te same rejestry mogą zacząć działać jako liniowy rejestr przesuwający ze sprzężeniem zwrotnym, a stan końcowy licznika binarnego poprzedzający moment rekonfiguracji stanowi stan początkowy rejestru przesuwanego.

Choć układy te można nazwać ewolucyjnymi z punktu widzenia technologii, oferują potencjalnie rewolucyjne możliwości. Aby odzwierciedlić ich możliwości, zaczęto stosować określenia takie jak wirtualny sprzęt, sprzęt adaptacyjny oraz Cache Logic. Ponieważ wydaje się, że wyrażenia te wkrótce znajdą się w powszechnym użyciu, należy poświęcić nieco uwagi ich pochodzeniu.

Termin „wirtualny sprzęt” pochodzi od swego programowego odpowiednika, a mianowicie określenia „pamięć wirtualna”, a oba mają oznaczać, że chodzi o coś, co w rzeczywistości nie istnieje. W przypadku pamięci wirtualnej system operacyjny „udaje”, że ma do dyspozycji więcej pamięci niż to jest naprawdę. Na przykład, program komputerowy wymaga 10MB pamięci na dane, a komputer posiada ich tylko 5MB. Aby rozwiązać ten problem, system operacyjny w sytuacji, gdy program adresuje komórki pamięci, która fizycznie nie istnieje, umieszcza część zawartości pamięci na twardym dysku. Choć taka procedura, znana pod nazwą swappingu, zwalnia szybkość działania komputera, to jednak umożliwia programowi wykonanie swoich zadań, zanim ktoś zdecyduje się na zakup dalszych układów pamięci.

Podobnie termin „Cache Logic” jest odpowiednikiem „Cache Memory” (pamięć cache), będącej

szybka i drogą pamięcią SRAM, służącą do przechowywania aktualnie wykorzystywanych danych, podczas gdy główna część danych ulokowana jest w wolniejszych i zarazem tańszych układach, np. pamięciach DRAM.

W rzeczywistości idea wirtualnego sprzętu jest łatwa do zrozumienia. Każdy większy blok funkcjonalny jest na ogół zbudowany z pewnej liczby mniejszych bloków, takich jak liczniki, rejestry przesuwające i multiplexery. Gdy grupa makrofunkcji rozbijana jest na mniejsze bloki funkcjonalne, widoczne stają się dwie rzeczy: po pierwsze, poszczególne bloki funkcjonalne powtarzają się, np. licznik może być wykorzystywany wielokrotnie; po drugie, w dużym stopniu występuje zjawisko latencji funkcjonalnej, co znaczy, że w danym momencie aktywna jest stosunkowo niewielka liczba małych bloków funkcjonalnych. Możliwość dynamicznego rekonfigurowania części wirtualnego sprzętu oznacza, że stosunkowo niewielka liczba układów logicznych wykorzystywana będzie do implementacji różnych funkcji makro. Określając częstość i stopień wykorzystywania każdego małego bloku funkcjonalnego, podnosząc funkcjonalność i ograniczając redundancję, urządzenia typu wirtualnego mogą wykonywać daleko bardziej złożone zadania niż mogłoby się wydawać sądząc po ich liczbie bramek logicznych. Np. złożona funkcja, wymagająca np. 10000 odpowiedników bramek, wykorzystuje ich w danej chwili tylko 2000. Tak więc dzięki zapamiętywaniu (caching) funkcji implementowanych przez pozostałe 8000 bramek można doprowadzić do sytuacji, w której mały i tani układ zawierający 2000 bramek będzie mógł zastąpić większy i droższy układ z 10000 bramkami.

W rzeczywistości możliwa jest nawet „kompilacja” nowych zmian projektu w czasie rzeczywistym, co można traktować jako dynamiczne tworzenie sprzętowych podprogramów (rys. 5). Stąd właśnie pochodzi użyty wyżej termin „adaptacyjny sprzęt”.

EPE

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika "Everyday Practical Electronics".