

Fizyka „z piekła rodem”

EKSPERYMENT HADES I JEGO WYNIKI

AUTOR: MATEUSZ WASILUK

Plan prezentacji

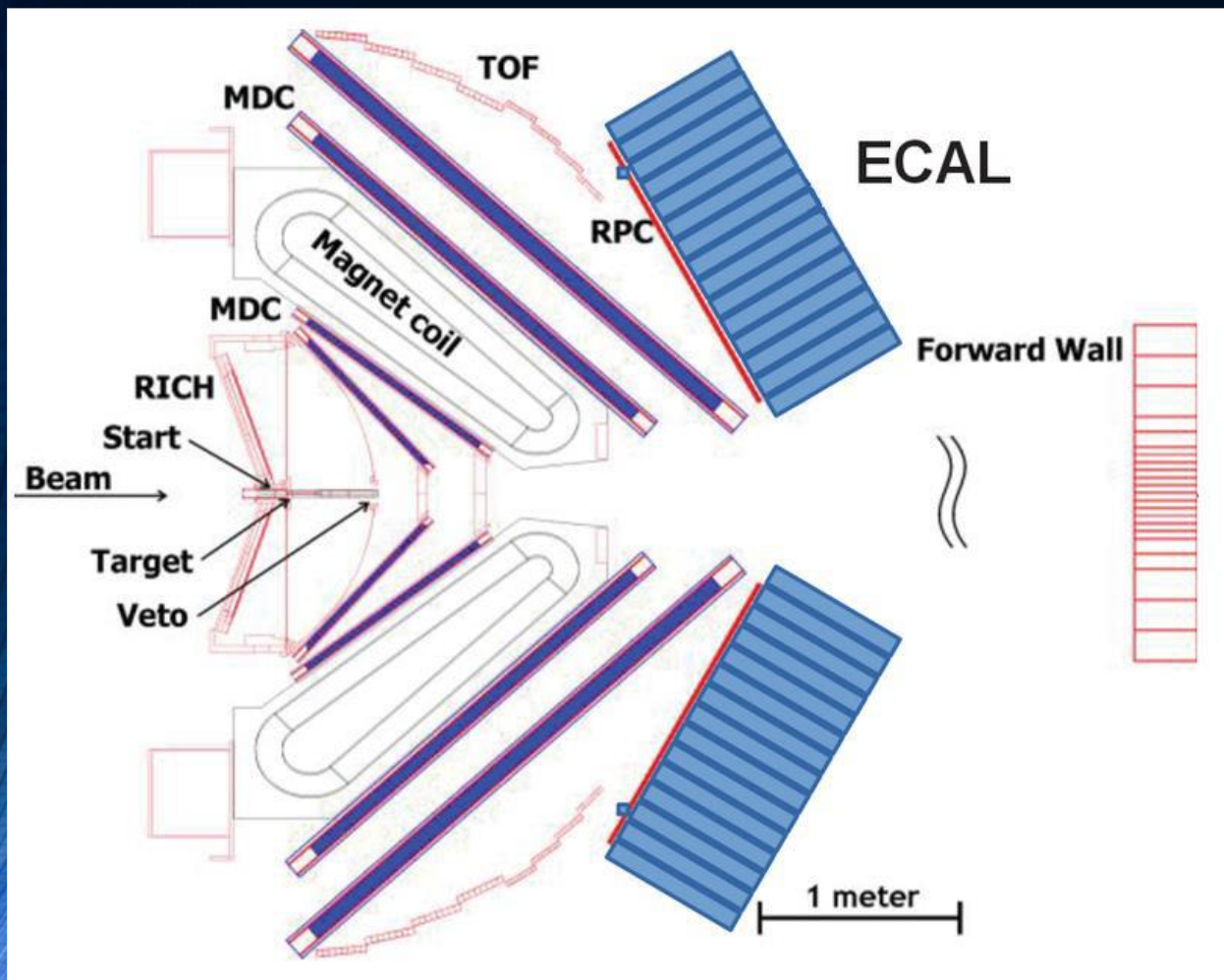
- HADES – wstęp/przypomnienie najważniejszych informacji
- Przegląd przykładowych gałęzi badawczych i odkryć
- „HADES w kosmosie” – publikacja w Nature Physics i jej implikacje
- Przyszłość eksperymentu

Ogólnie o HADES

- Eksperyment w laboratorium GSI w Darmstadt
- Korzysta z wiązek dostarczanych przez akcelerator SIS18
- Reżim energetyczny: 1-2 AGeV
- Najwyższe potencjały barionowo-chemiczne podczas wymrożenia
- Główne gałęzie programu badawczego:
 - Mechanizmy produkcji dziwności
 - Emisyjność materii rezonansowej
 - Rola rezonansów barionowych w tejże materii
 - Badanie ekskluzywnych kanałów w reakcjach indukowanych przez piony/protony

Układ pomiarowy

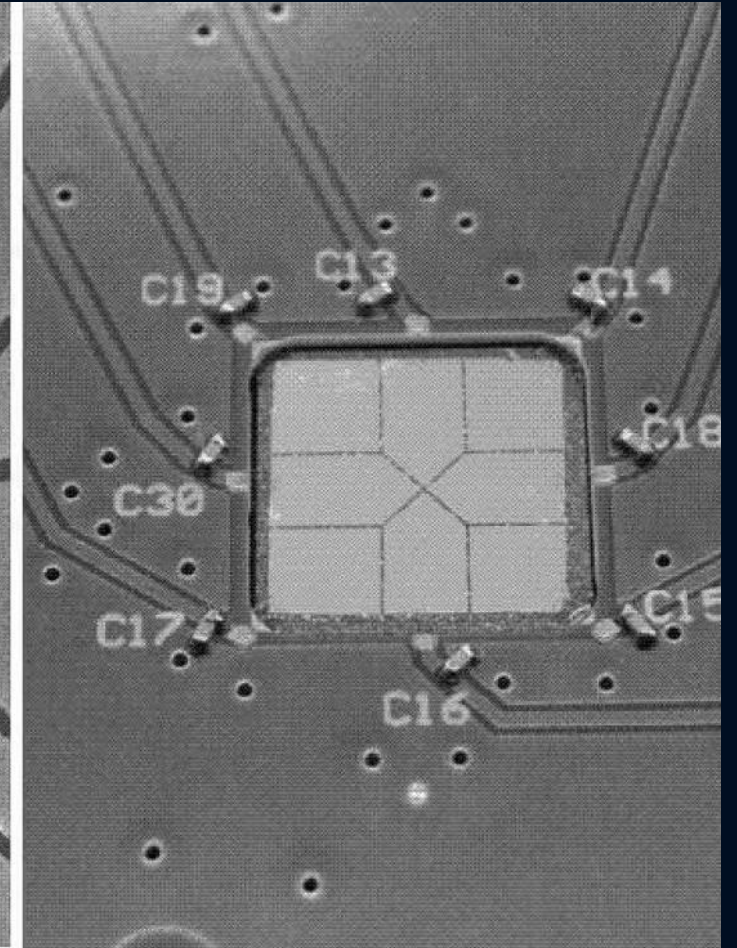
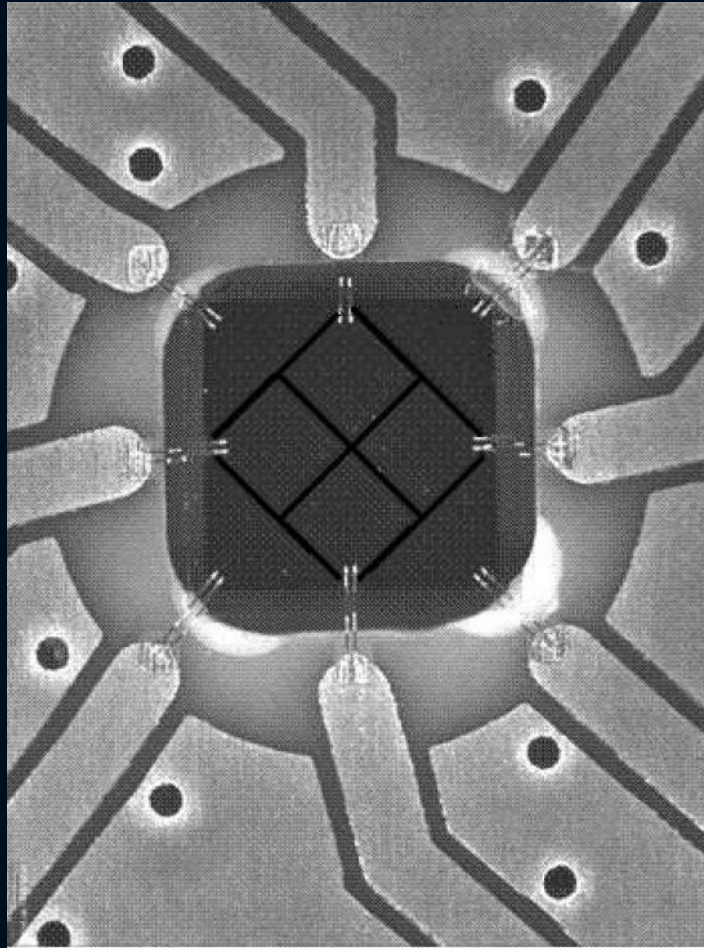




- Sześć identycznych sektorów wokół osi wiązki
- Akceptancja kątowa między 16, a 88 stopni
- Detektory:
 - START i VETO
 - RICH
 - MDC
 - TOF-RPC wall
 - ECAL
 - Forward wall

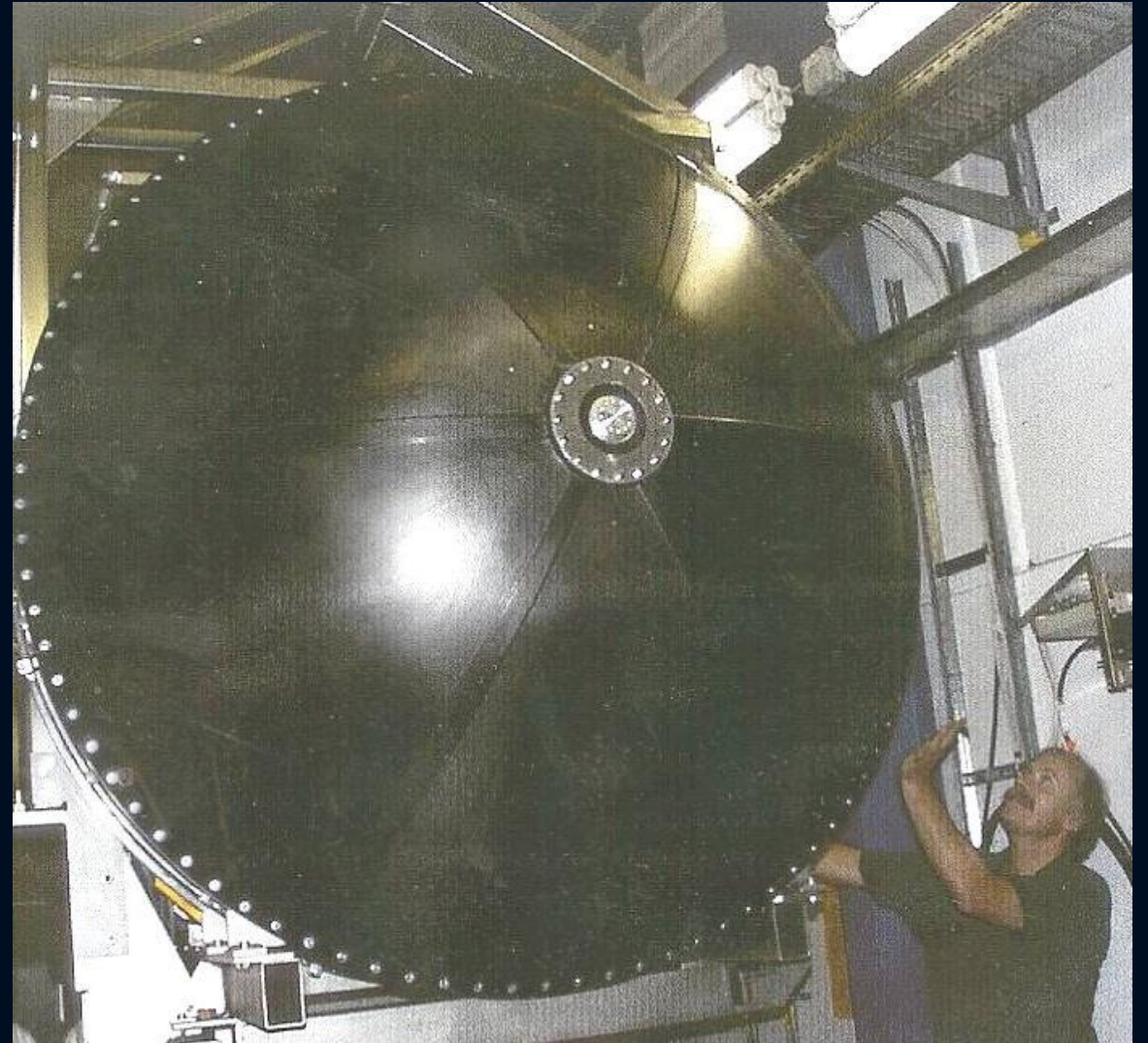
START/VETO

- Monitorowanie jakości wiązki
- Określenie czasu reakcji t_0 (START)
- Precyzja pomiaru czasu < 50 ps
- Sygnał o nie zajściu reakcji z tarczą (VETO)



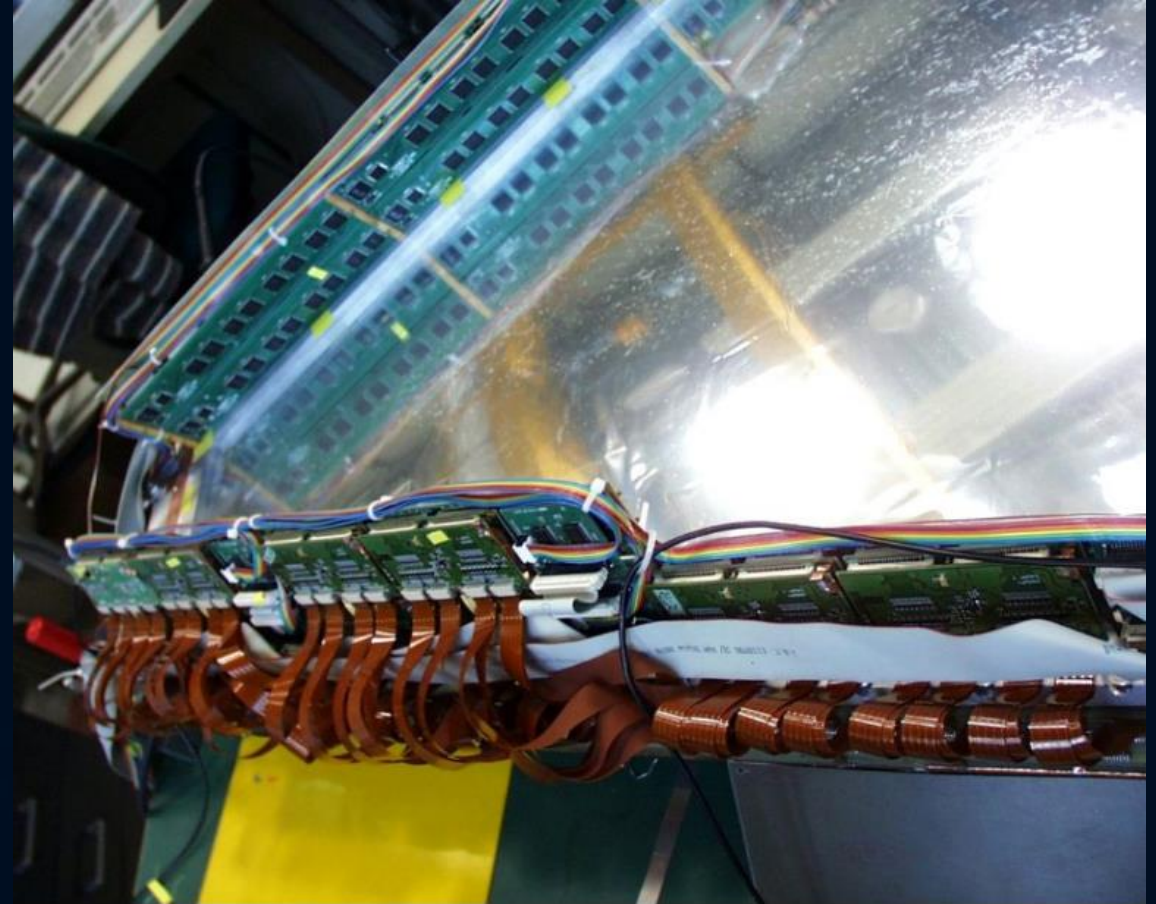
RICH

- Służy do identyfikacji leptonów
- Wykorzystuje promieniowanie Czerenkowa
- Funkcjonuje jako wyzwalacz przy zdarzeniach zawierających parę e^+e^-



MDC

- Komory dryfowe, główna część systemu trackingu
- Każda komora złożona z sześciu trapezoidalnych modułów, z których każdy obejmuje 60 stopni kąta azymutalnego



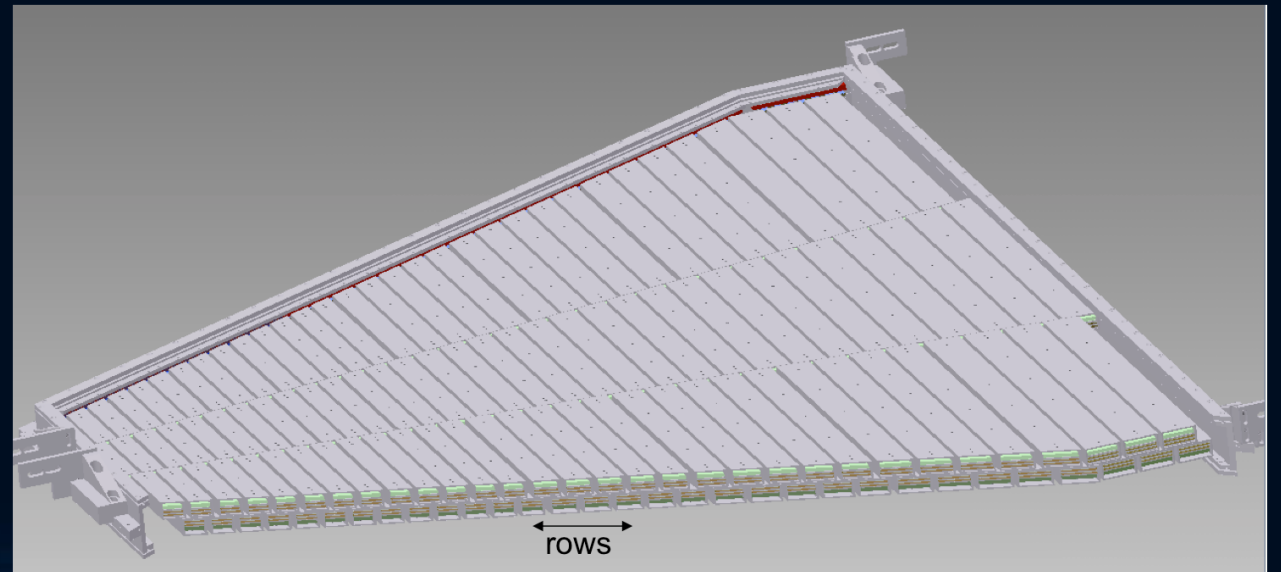
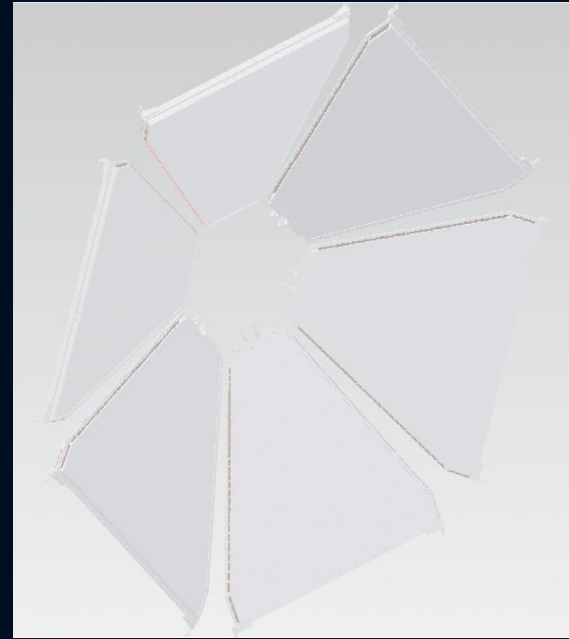
TOF

- Scyntylicyjny detektor czasu przelotu
- Część systemu wyzwalania HADESu
- Obejmuje zakres kąta zenitalnego od 44 do 88 stopni
- Główne zadania:
 - Szybkie określanie krotności cząstek naładowanych -> determinacja centralności
 - Szybki tracking
 - Pomiar czasu przelotu cząstki



RPC

- Półprzewodnikowy detektor czasu przelotu
- Rozdzielczość poniżej 100 ps
- Wydajność powyżej 95% pojedynczych hitów



ECAL

- 978 modułów ze szkła ołowiowego, 6 sektorów, obejmuje kąty zenitalne od 16 do 45 stopni
- Przez pomiar fotonów możliwe np. badania produkcji mezonów neutralnych, neutralnych rezonansów Lambda(1405) lub Sigma(1385)
- Usprawnia separację pion-elektron przy wysokich pędach



Forward Wall

- Detektor umieszczony 7 m za tarczą, obejmuje kąty zenitalne od 0.33 do 7.17 stopnia
- Bazuje na 287 modułach scyntylacyjnych
- Dostarcza informacji o stanie wiązki po reakcji



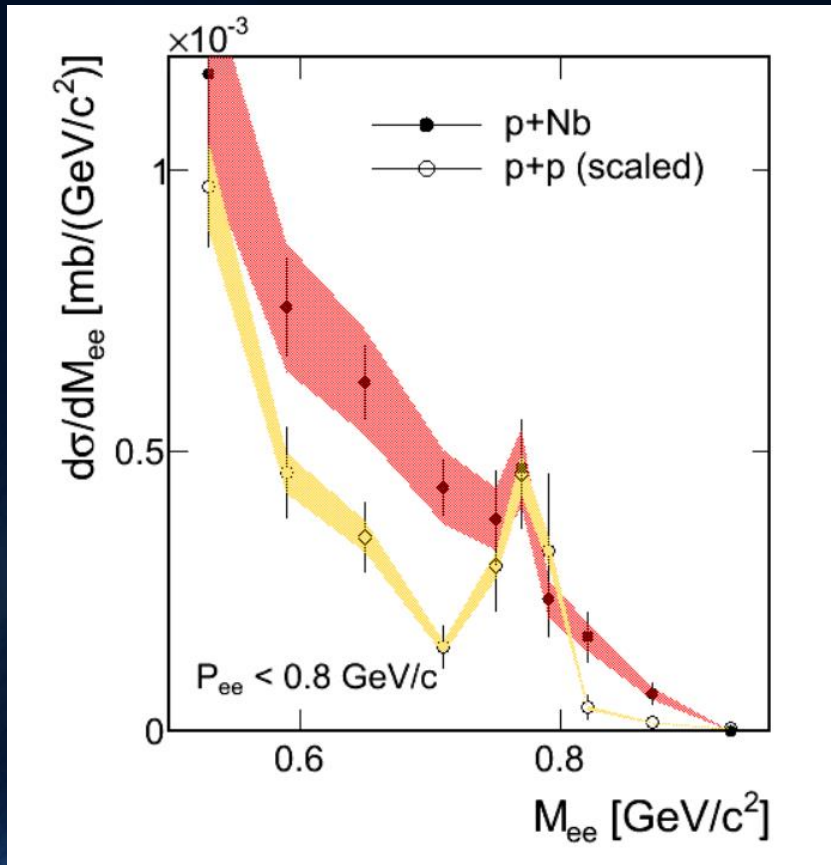
Najważniejsze odkrycia z lat 2002-2008

- Nadmiarowe promieniowanie w zakresie masy niezmienniczej $0.2-0.7 \text{ GeV}/c^2$ przy zderzeniu $\text{Ar}+\text{KCl}$ z 1.76 A GeV -> regeneracja rezonansów barionowych w fireballu
- Pomiar kształtu spektrum rezonansu $\Lambda(1405)$ ze zderzeń $p+p$ przy 3.5 GeV i wskazanie na przesunięcie masy biegunowej -> wskazanie na molekularną naturę $\Lambda(1405)$
- Dowiedzenie odpychającej natury oddziaływań K^0_S w obszarze zimnej materii w reakcjach indukowanych protonami

Dalsze kroki

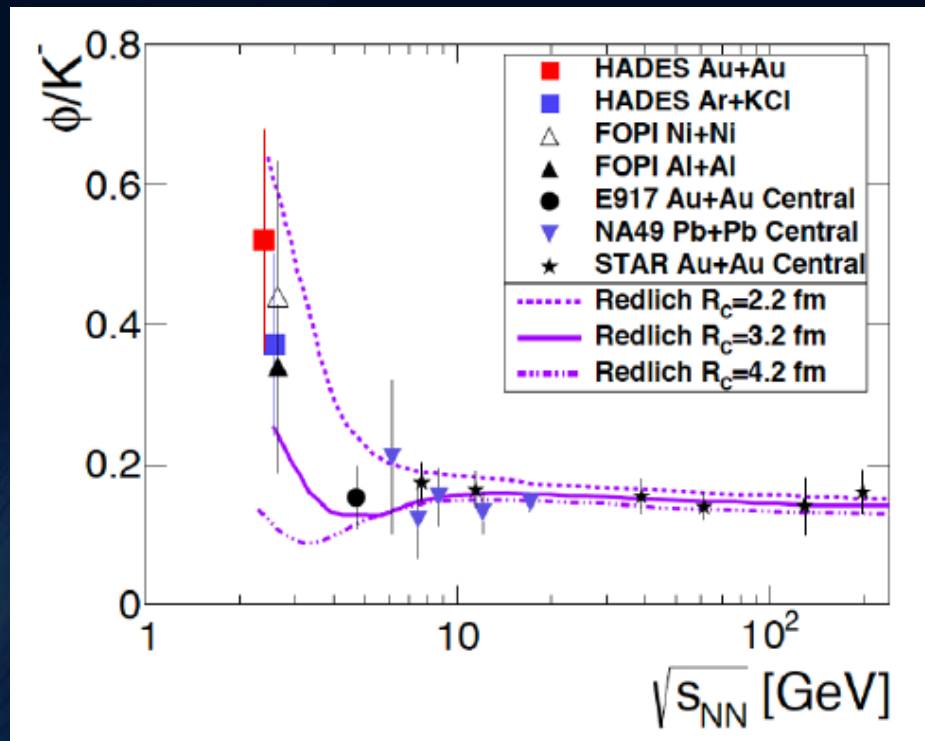
- Obserwacje w zderzeniach odpowiadają opisowi fireballa jako gazu rezonansowego z silnymi efektami wewnętrznymi
- Zaobserwowane krotności hadronów przypominają charakterystyki termalizacji, lecz np. pływ protonów już nie
- Skupienie badań w kolejnych latach na ciężkich systemach (A+A lub p+A) i maksymalnych energiach SIS18

Emisyjność materii rezonansowej



- Powodowane barionami efekty w medium znacząco wpływają na rozkład masy rho -> klucz do opisu spektr dileptonów mierzonych przy SPS, top RHIC, RHIC-BES
- „Poszerzenie” masy rho implikuje silne sprzężenie mezonu z barionami
- Silna zależność rozkładu masy rho od pędu, również przy „normalnych” gęstościach materii jądrowej
- Konieczne pełne zrozumienie sprzężeń rho – kluczem reakcje indukowane pionami

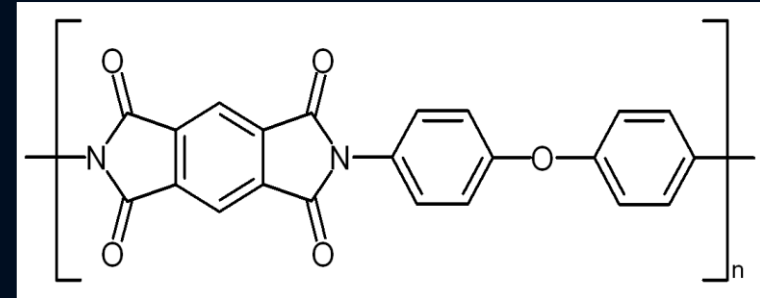
Produkcja i propagacja dziwności



- Wieloetapowe zatrzymywanie obiektów i reakcje wymiany dziwności (np. $\pi\Lambda \rightarrow NK^-$) -> wymagana informacja o wszystkich kanałach produkcji cząstek z otwartą i ukrytą dziwnością
- Wymaganie spełnione dla zderzeń Au+Au przy 2.4 GeV/NN -> zauważono, że mezon ϕ odpowiada za około 25% produkcji K^- ;
- Negacja założenia, że różnice w nachyleniach widm poprzecznych K^+ i K^- wskazują na ich sekwencyjne wymrożenie

„Skazenie węglowe”

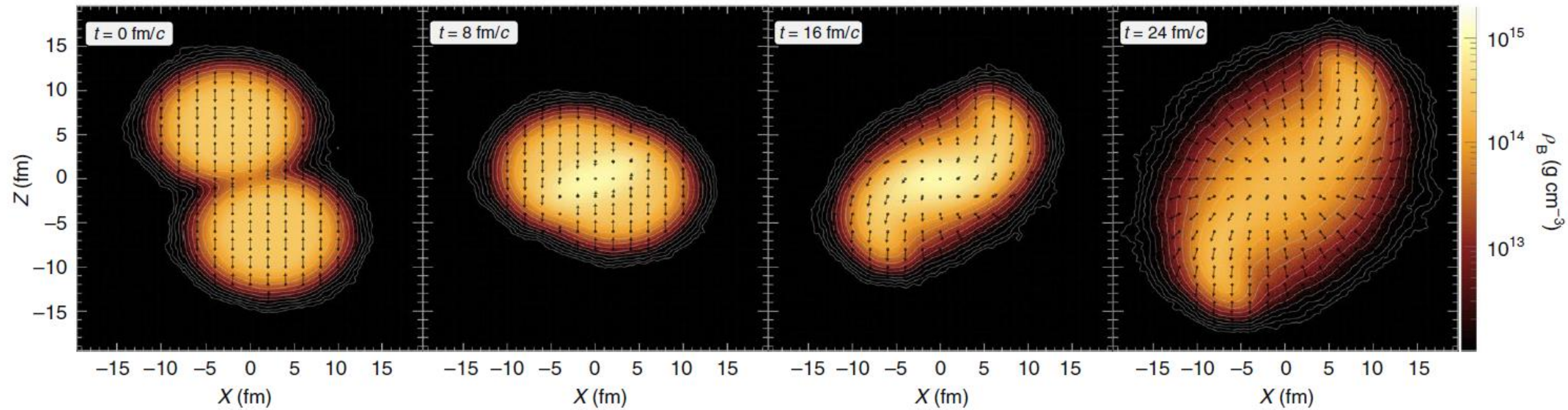
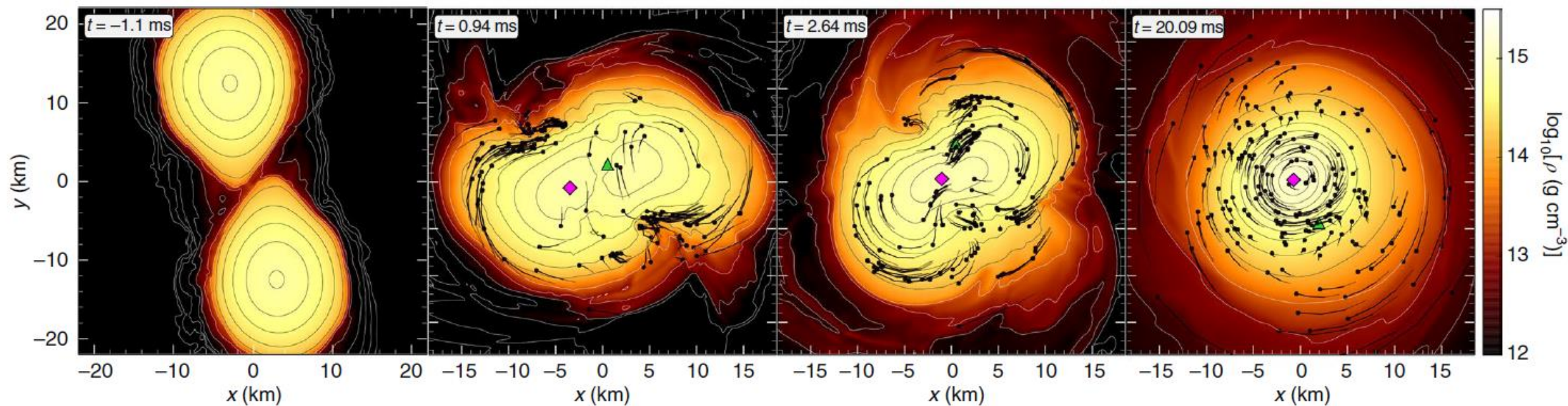
- Eksperyment stacjonarnej tarczy -> możliwe zderzenia z elementami konstrukcyjnymi
- Produkcja dileptonów, dziwności, czy pionów skaluje się nieliniowo z liczbą partycypantów -> A_{part} musi być równa dla porównywanych systemów
- Przykład: analizy na Ar+KCl dla 38% najbardziej centralnych zderzeń wymagają 50-60% dla Au+Au i 38-45% dla Ag+Ag – w tych klasach centralności znaczący wkład zderzeń z jądrami C
- Możliwe rozwiązania: oszacowanie wpływu zderzeń X+C i uwzględnienie tej informacji w wyznaczaniu niepewności lub eliminacja większości zderzeń X+C (cięcia lub metody ML)



„Co ma piernik do wiatraka?”

CZYLI ANALOGIA MIĘDZY ZDERZENIAMI GWIAZD
NEUTRONOWYCH I CIĘŻKICH JONÓW

- Odkrycie fal grawitacyjnych przez LIGO pozwala próbkować obiekty gwiazdne w sposób dotychczas niemożliwy – potencjalnie umożliwiają uzyskanie więzów na równanie stanu materii
- Systemy makroskopowe (pojedyncze lub zderzające się gwiazdy neutronowe) oraz mikroskopowe (zderzenia ciężkich jonów) próbują ten sam obszar diagramu fazowego ($T < 70 \text{ MeV}$, $\rho \approx 3\rho_0$)
- Więzy na EoS mogą prowadzić do redukcji stopni swobody w modelowaniu ZCJ, pozwalając na bezprecedensowy wgląd w procesy hadronizacji i formowania materii
- Problem – drastycznie różne skale czasowe i pytanie, jaka jest rola produkcji dziwności? Być może niezbędna do utrzymania stabilności gwiazd neutronowych...



Najnowsze odkrycia

- Precyzyjny pomiar dileptonów w ZCJ przy energii CMS 2.42 GeV
- Odkrycie: struktura rezonansowa mezonu ρ rozprasza się – rozmywa się rozkład masy
- Nieoczekiwany, silny sygnał promieniowania termicznego -> częste wzajemne rozpraszanie pomiędzy barionami w fireballu powoduje powstanie lokalnie quasi-stermalizowanego medium, które „świeci” analogicznie do zderzenia przy wysokich energiach
- Wniosek: materia produkowana w ZCJ przy energiach HADESu może stwarzać warunki do uwolnienia kwarkowych i gluonowych stopni swobody -> możliwe uwolnienie we wnętrzach gwiazd neutronowych
- Dalsze badanie – sprawdzenie rozmycia masy w warunkach panujących we wczesnym Wszechświecie

Przyszłość eksperymentu

- HADES-100 – podłączenie detektora do konstruowanego obecnie synchrotronu SIS100
- Dostarczenie danych dielektronowych z obszarów diagramu QCD niedostępnych dla innych eksperymentów
- Pozostanie poniżej temperatur koniecznych do pojawienia się QGP
- Reżim energetyczny: 2-40 AGeV – „terra incognita”
- Eksperymenty komplementarne z CBM – „most” do energii CERN

Źródła

- <https://hades.gsi.de/>
- M. Lorenz „Overview of HADES results”, <https://s3.cern.ch/inspire-prod-files-b/b2dbb03ad4a526b31667aff0c8415439>
- P. Salabura „Hades experiment probing baryonic matter at SIS18 overview of results”, <https://s3.cern.ch/inspire-prod-files-a/af42b150d605cd3e8ed26e390f81560f>
- „Probing dense baryon-rich matter with virtual photons”, Nature Physics vol. 15, num. 10, pp. 1040-1045, 07.2019
- Technical Design Report for HADES-100, https://hades-new.gsi.de/sites/default/files/web/media/documents/Hades_at_SIS100_proposal.pdf

Dziękuję!