



FASER: ForwArD Search ExpeRiment at the LHC

Sebastian Trojanowski (BP 2)

Prelegent zastępujący: **Andrzej Hryczuk** (BP 2)

NCBJ – doroczne spotkanie podsumowujące Departamentu Badań Podstawowych
Grudzień 10, 2018

OSIĄGNIĘCIE

- Propozycja umieszczenia nowego detektora w LHC: **FASER: ForwArD Search ExpeRiment**
- S Trojanowski jest jednym z 4 autorów pomysłu (pierwsza publikacja w PRD w 2018)
post-doc w UC Irvine [Mobilność Plus], w NCBJ: Zakład Fizyki Teoretycznej BP 2
Grupa Teorii Cząstek
- Obecnie propozycja jest na bardzo zaawansowanym etapie procesu decyzyjnego w CERN
(szczegóły na kolejnych slajdach)
- Plany: rozpoczęcie montażu detektora w nadciągającym roku (2019)
rozpoczęcie zbierania danych: LHC Run 3 (2021-23)

OSIĄGNIĘCIE (2)

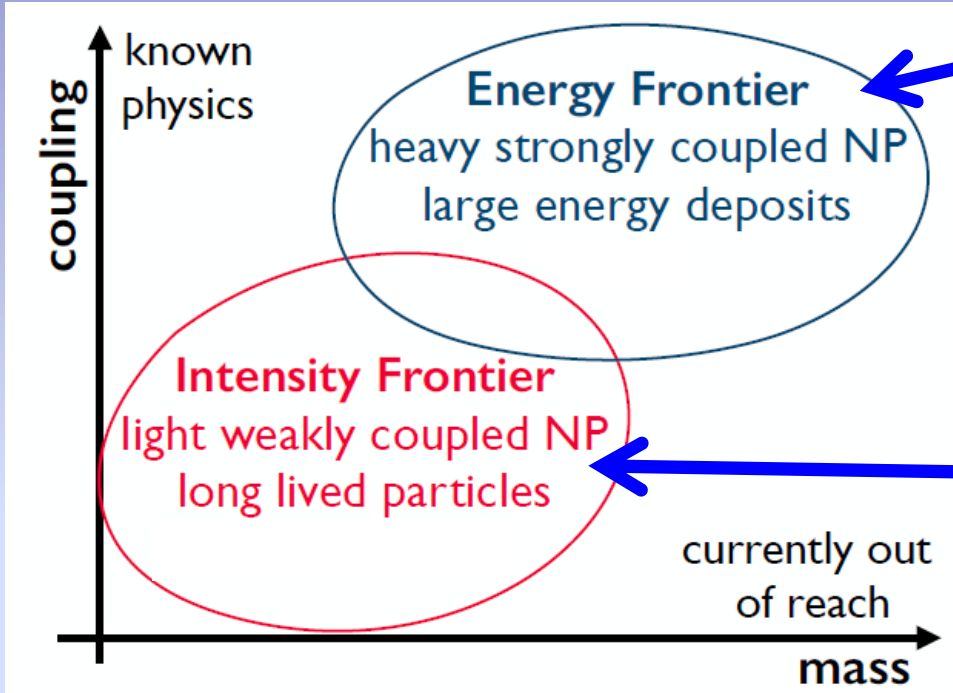
• Lista publikacji będących przedmiotem zgłoszenia:

1. J.L. Feng, I. Galon, F. Kling, S. Trojanowski,
„ForwArd Search ExpeRiment at the LHC”, Phys.Rev. D97 (2018) no.3, 035001
2. J.L. Feng, I. Galon, F. Kling, S. Trojanowski,
„Dark Higgs bosons at the ForwArd Search ExpeRiment”, Phys.Rev. D97 (2018) no.5, 055034
3. F. Kling, S. Trojanowski, „Heavy Neutral Leptons at FASER”, Phys.Rev. D97 (2018) no.9, 095016
4. J.L. Feng, I. Galon, F. Kling, S. Trojanowski,
„Axionlike particles at FASER: The LHC as a photon beam dump”, Phys.Rev. D98 (2018) no.5, 055021
5. FASER Collaboration,
„Letter of Intent for FASER: ForwArd Search ExpeRiment at the LHC”, CERN-LHCC-2018-030
6. FASER Collaboration, „FASER's Physics Reach for Long-Lived Particles”, hep-ph/1811.12522

• Wybrane wystąpienia S Trojanowskiego na temat FASERa:

- a) (wystąpienie zaproszone na sesji równoległej) konferencja LHCP 2018, Bologna, Italy, 07/06/2018
- b) (wystąpienie zaproszone) warsztaty „New Physics with Displaced Vertices”, Hsinchu, Taiwan,
21/06/2018
- c) Konferencja COSMO-2018, Daejeon, Korea, 29/08/2018
- d) (zaproszone, grudzień br) warsztaty LHC Working Group on Forward Physics and Diffraction, CERN,
18-19/12/2018

MOTYWACJA

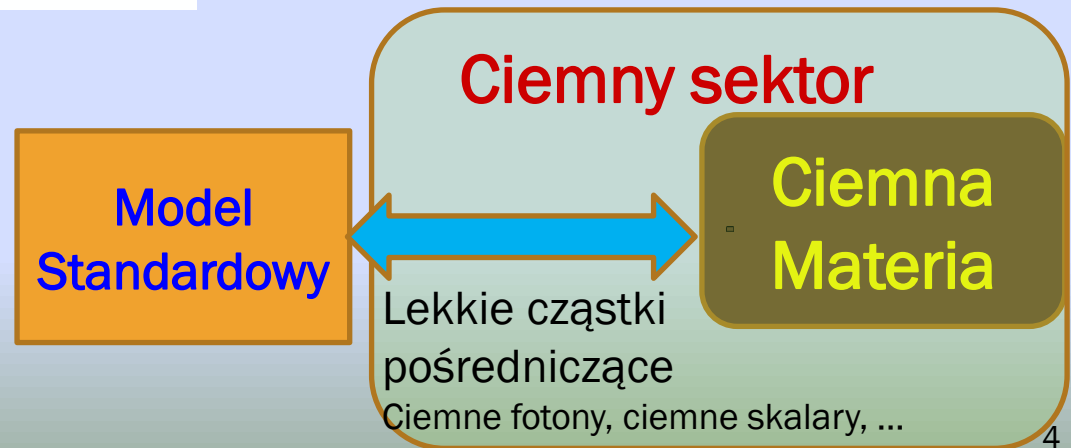


ciężkie i względnie silnie oddziałujące
 nowe cząstki np. SUSY, ukryte wymiary, ...
 w tej kategorii również ciężka ciemna materia (poszukiwania typu „missing energy”)

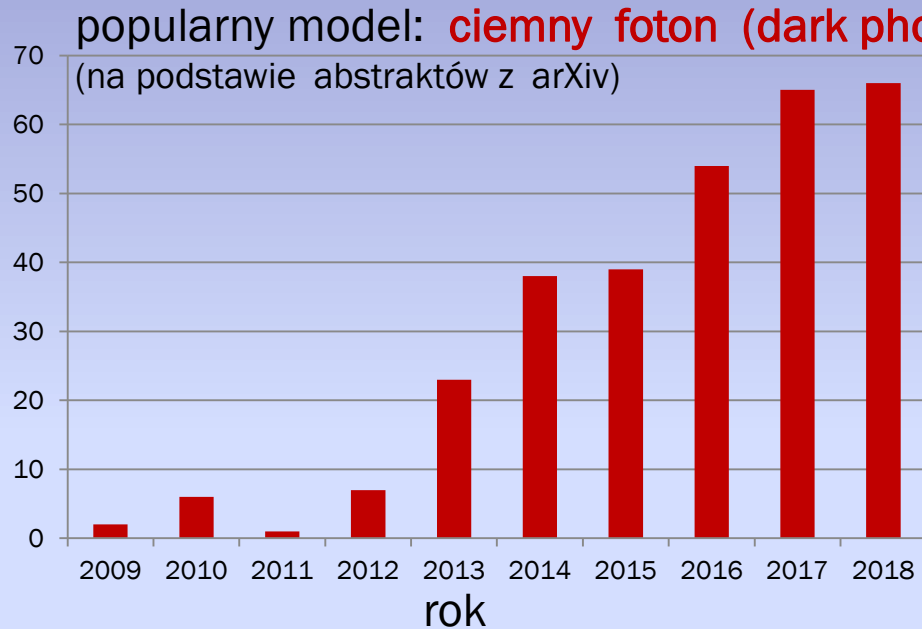
Lekkie i bardzo słabo oddz. nowe cząstki:
 -- wymagana duża statystyka zdarzeń
 -- rozpadają się do cząstek z SM, lecz niejednokrotnie z dala od punktu powstania
 -- tło z SM musi zostać silnie stłumione (szukamy rzadkich zdarzeń)

Bardzo interesująca „nowa fizyka”:

- powiązania z kosmologią (ciemna materia, inflacja, bariogeneza,...)
- masa neutrin (ciężkie neutralne leptony na skali GeV)
- $(g-2)_\mu$
- ...



POSZUKIWANIA LEKKICH DŁUGOŻYCIOWYCH CZĄSTEK – DYNAMICZNIE ROZWIJAJĄCA SIĘ DZIEDZINA BADAŃ !



Dedykowana „CERN Study Group”
Physics Beyond Colliders (PBC)

- pierwsze warsztaty w CERN, wrz 2016
- obecnie (2018) już ~1000 fizyków pracujących przy obecnych i planowanych eksperymentach
- PBC dostało mandat z CERNu na przygotowanie kolejnej aktualizacji Europejskiej Strategii Badań HEP (2019-20)
(C. Valle, Bologna, LHCP 2018)
- FASER natychmiast zaproszony do PBC

Poszukiwanie nowych lekkich długożyciowych cząstek

– **jeden z głównych możliwych przyszłych kierunków badań w CERN**

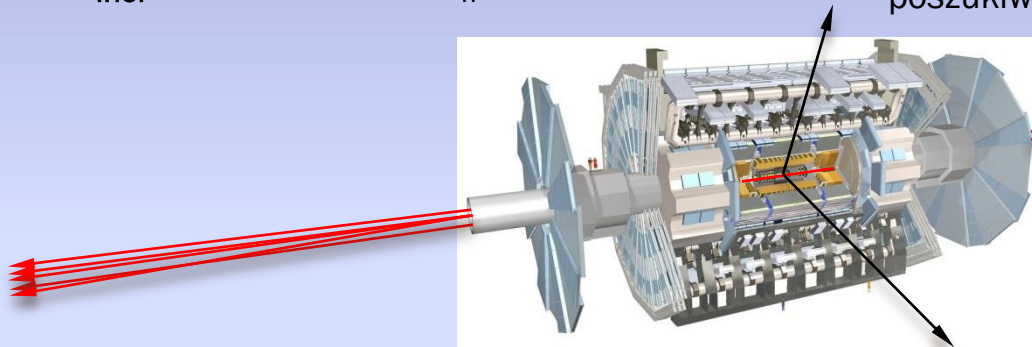
W dłuższej perspektywie rozważane są wielkoskalowe projekty (>\$100M): SHiP, MATHUSLA

FASER - IDEA

FASER – propozycja umieszczenia niewielkiego ($\sim 0.05 \text{ m}^3$) i taniego ($\sim 1.5 \text{ M}\$$) detektora w odległości około kilkuset metrów od centrum zderzenia ATLAS

LHC: bardzo duży przekrój czynny na produkcję cząstek w kierunku „do przodu” (forward)

$\sigma_{\text{inel}} \sim 75 \text{ mb}$ np. $N_{\pi} \sim 10^{17}$ dla 3 ab^{-1} dla porównania $\sigma \sim \text{fb} - \text{pb}$ np. $N_H \sim 10^7$ dla 300 fb^{-1} w poszukiwaniach z dużym pędem poprzecznym (high- p_T)



nowe cząstki **FASER**

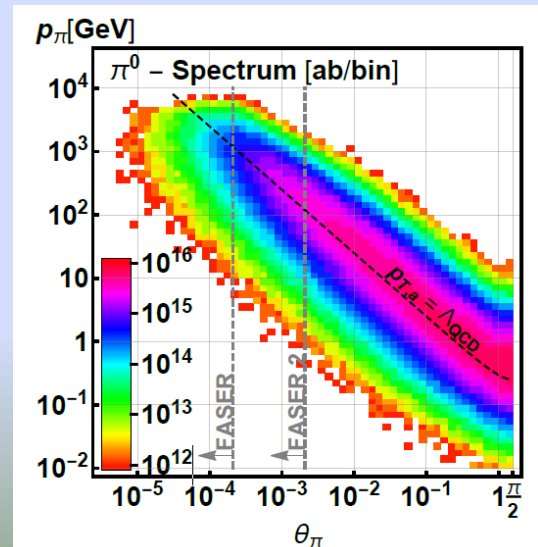
π, K, D, B, \dots

Lekkie nowe cząstki produkowane m.in: w rozpadach lekkich mezonów $\pi^0 \rightarrow$ nowa lekka cząstka

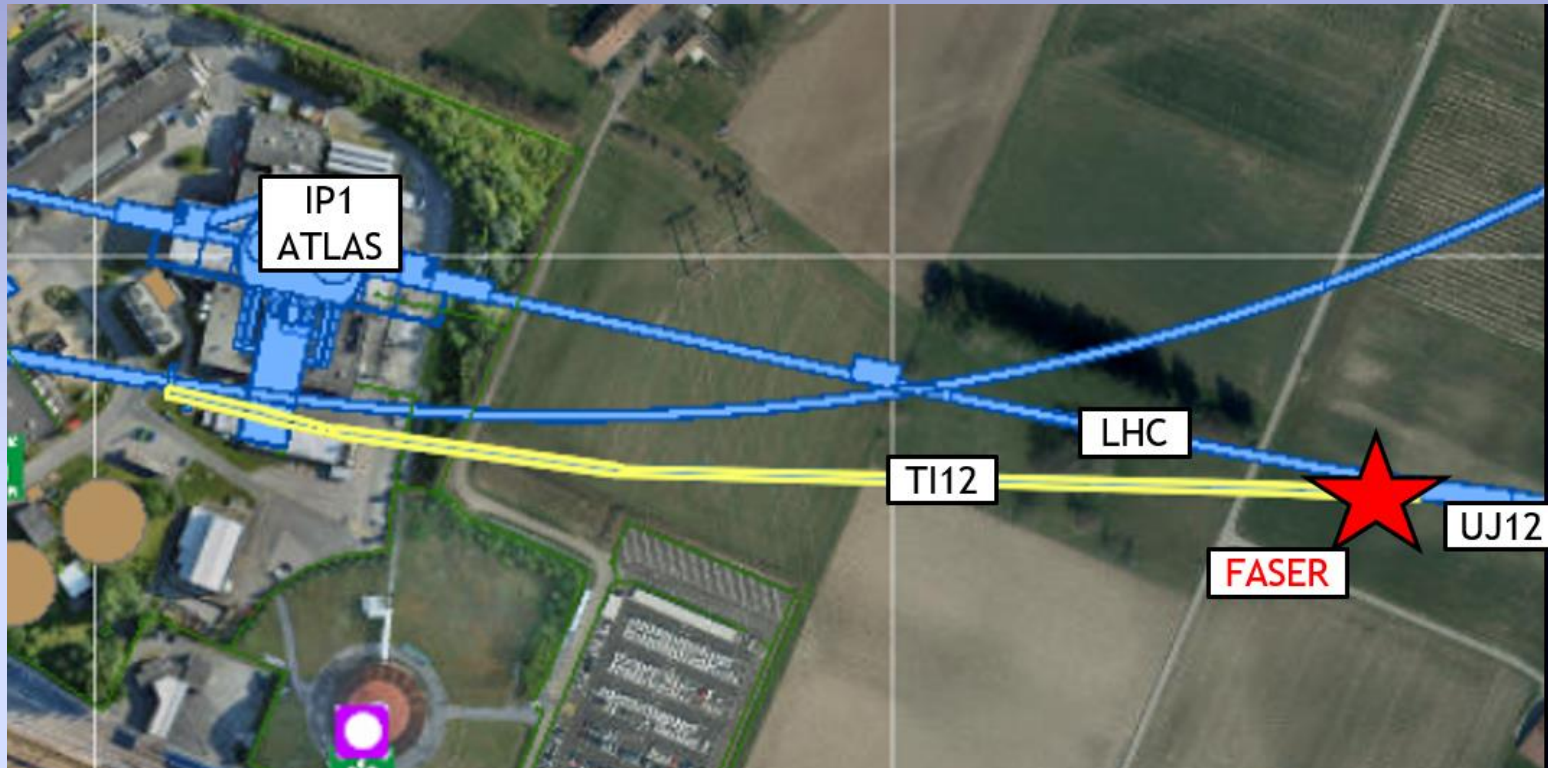
Przykładowo: typowe piony produkowane w LHC z $p_T \sim \Lambda_{\text{QCD}}$
 $\theta \sim \Lambda_{\text{QCD}}/E \sim \text{mrad}$ dla $E \geq 100 \text{ GeV}$,
Wysokoenergetyczne piony lecą w kierunku osi zderzenia

FASER to bardzo mały detektor: odpowiada $\sim (2 \times 10^{-6})\%$ całkowitego kąta bryłowego w wybranej półkuli (2π)...
...jednak aż $\sim 2\%$ pionów leci w kierunku FASERa

Większa wersja detektora dla HL-LHC (FASER 2):
Dla FASERa 2 rozmiar: $\sim (2 \times 10^{-4})\%$, $\# \pi^0 \sim 25\%$

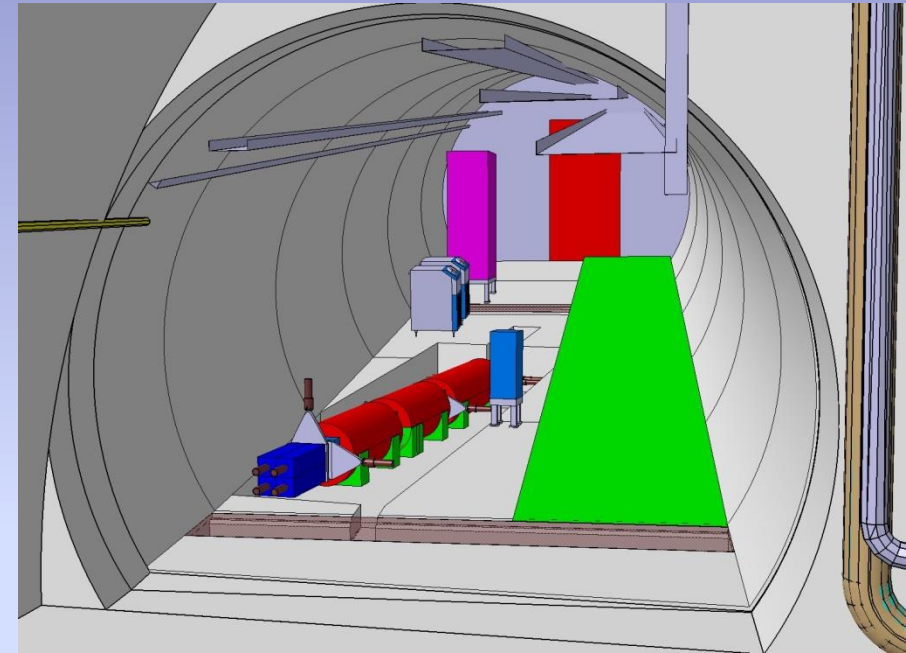
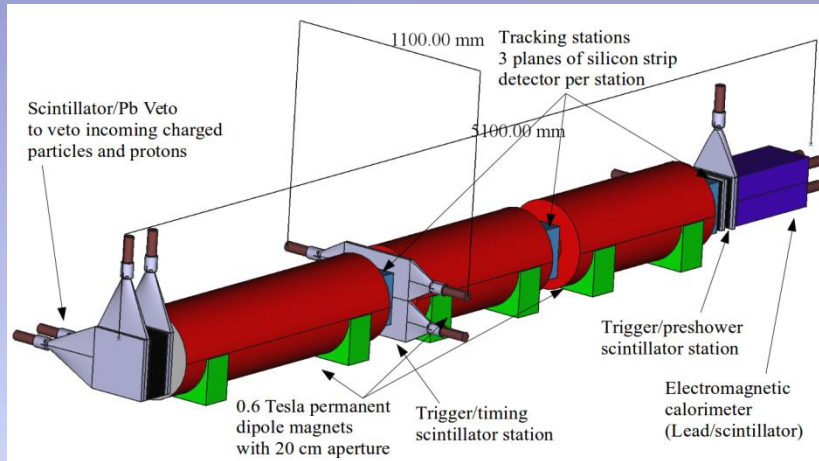


FASER LOKALIZACJA – TUNEL TI12 (LHC)

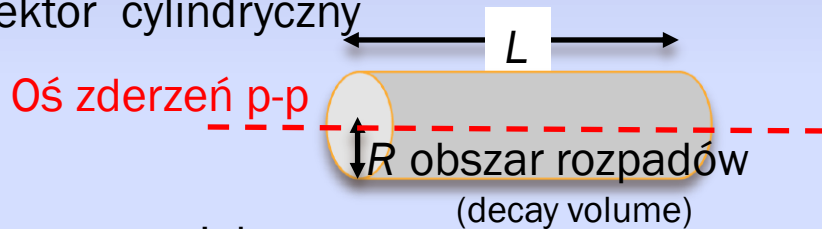


- lokalizacja w bocznym tunelu TI12 (niegdyś tunel serwisowy łączący SPS z LEP)
- dystans $L \sim 480\text{m}$ od centrum zderzeń „p-p” detektora ATLAS (TI12: obecnie nieużywany)
- dostępna przestrzeń na kilkumetrowy detektor
- dokładna (mm) pozycja „osi zderzenia p-p” w tunelu wyznaczona przez CERN Eng Dep
- uwzględniono poprawki na zmieniający się kąt zderzenia „p-p” (dla 300urad przemieszczenie $\sim 7\text{cm}$)

PROSTY SCHEMAT DETEKTORA



- detektor cylindryczny



- 2 etapy projektu:

FASER 1: $L = 1.5$ m, $R = 10$ cm, $V = 0.05$ m³, 150 fb⁻¹ (Run 3)

FASER 2: $L = 5$ m, $R = 1$ m, $V = 16$ m³, 3 ab⁻¹ (HL-LHC)

Plany adaptacji istniejących nieużywanych części (użyczenie)

- ATLAS moduły SCT (tracker)
- LHCb moduły ECAL (kalorymetr)

(znaczną oszczędność czasu & środków)

Sygnal to para przeciwnie naładowanych wysokoenergetycznych cząstek np. 1 TeV A' \rightarrow e^+e^-

Praktycznie wolny od tła w rozważanej lokalizacji (potwierdzone przez symulacje i pomiary)

Pierwsze symulacje detektora + dalsze prace (Geant4):

skończona dokładność pomiarowa ma niewielki wpływ na czułość FASERa na nową fizykę⁸

FASER & NOWE CZĄSTKI (WYBRANE MODELE)

Ciemny foton

– tzw. mieszanie kinetyczne z fotonem z SM

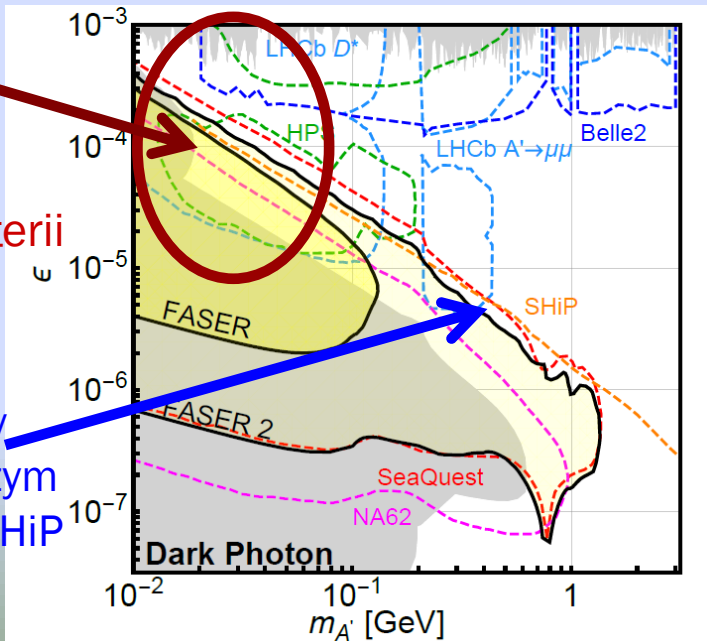
$$\epsilon F^{\mu\nu} F'_{\mu\nu}$$

– generuje to sprzężenia do fermionów z SM silnie tłumione przez ϵ

– niezerowa masa $m_{A'}$

– popularny kandydat na cząstkę pośredniczącą pomiędzy ciemną materią a SM

czułość FASERa



interesujący obszar dla termicznej ciemnej materii

FASER 2 porównywalny z dużo większym detektorem SHiP

Wiele innych modeli:

- ciemne bozony Higgosa (dark Higgs)
- ciężkie neutralne leptony
- bozony cechowania $U(1)_{B-L}$

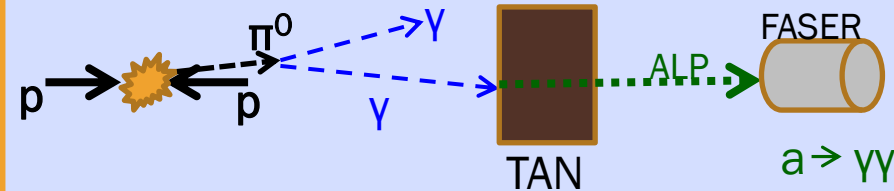
Prace innych grup & FASER:

RPV SUSY, nieelastyczna CM, SIMPs,...

Cząstki podobne do aksjonów (ALPs)

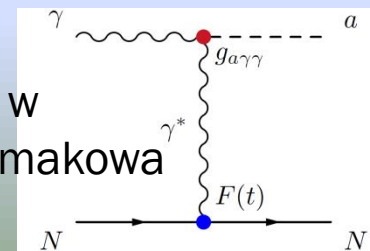
z dominującym sprzężeniem dwufotonowym

LHC jako eksperyment typu „beam-dump” dla fotonów



(absorber cząstek neutralnych)

ALP-y produkowane w procesach Primakowa



FASER – PIERWSZA PROPOZYCJA

Projekt rozpoczął się jako śmiała, lecz czysto hipotetyczna propozycja 4 teoretyków...

PHYSICAL REVIEW D **97**, 035001 (2018)

ForwArD Search ExpeRiment at the LHC

Jonathan L. Feng,^{1,*} Iftah Galon,^{1,†} Felix Kling,^{1,‡} and Sebastian Trojanowski^{1,2,§}

¹*Department of Physics and Astronomy, University of California, Irvine, California 92697-4575, USA*

²*National Centre for Nuclear Research, Hoża 69, 00-681 Warsaw, Poland*



(Received 13 October 2017; published 5 February 2018)

New physics has traditionally been expected in the high- p_T region at high-energy collider experiments. If new particles are light and weakly coupled, however, this focus may be completely misguided: light particles are typically highly concentrated within a few mrad of the beam line, allowing sensitive searches with small detectors, and even extremely weakly coupled particles may be produced in large numbers there. We propose a new experiment, forward search experiment, or FASER, which would be placed downstream of the ATLAS or CMS interaction point (IP) in the very forward region and operated concurrently there.

FASER – DALSZY ROZWÓJ

...w ciągu kilku miesięcy FASER urósł do rangi międzynarodowej kolaboracji
zauważonej przez CERN

Obecnie: 27 aktywnych członków z 15 instytucji w 8 krajach,

Podczas LHC Run 2 (2018): dokładne symulacje tła (CERN Eng Dep) + bezpośrednie pomiary

wrż 2018: list intencyjny kolaboracji FASER zaakceptowany przez komisję LHC (LHC Committee)

Obecnie: dłuższy Technical Proposal (wstępnie) zarekomendowany przez komisję LHC

TECHNICAL PROPOSAL

FASER

FORWARD SEARCH EXPERIMENT AT THE LHC

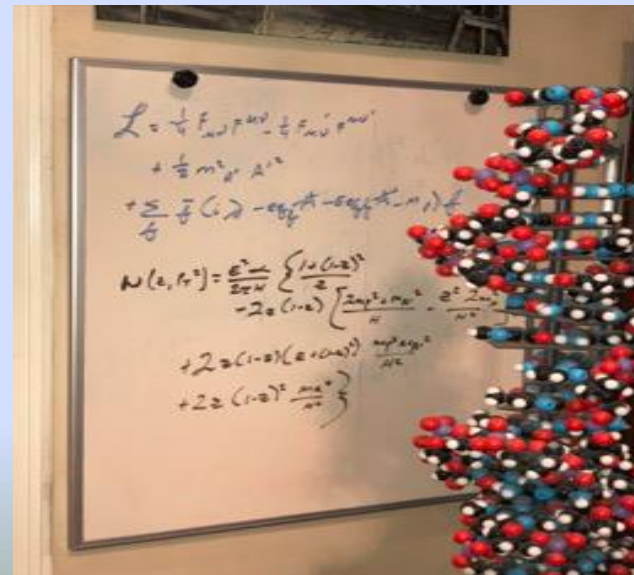
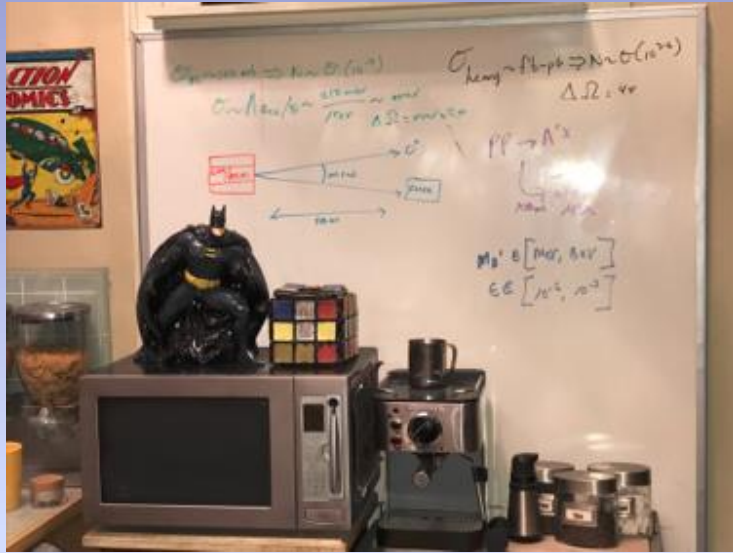
do akceptacji przez CERN Research Board
(finalne dyskusje dot. włączenia FASERa
w kalendarz prac LS2; możliwa
ostateczna akceptacja marzec 2019
na spotkaniu CERN Research Board)

PLAN:

- Instalacja detektora podczas
Long Shutdown 2 (LS2)
(początek prac w 1. połowie 2019)
- **Zbieranie danych LHC Run 3 (2021-23)**
- **FASER 2 (większy detektor dla HL-LHC)**

Akitaki Ariga,¹ Tomoko Ariga,^{1,2} Jamie Boyd,^{3,*} Franck Cadoux,⁴ David W. Casper,⁵
Francesco Cerutti,³ Salvatore Danzeca,³ Liam Dougherty,³ Yannick Favre,⁴
Jonathan L. Feng,^{5,†} Didier Ferrere,⁴ Jonathan Gall,³ Iftah Galon,⁶ Sergio
Gonzalez-Sevilla,⁴ Shih-Chieh Hsu,⁷ Giuseppe Iacobucci,⁴ Enrique Kajomovitz,⁸ Felix
Kling,⁵ Susanne Kuehn,³ Mike Lamont,³ Lorne Levinson,⁹ Hidetoshi Otono,² John
Osborne,³ Brian Petersen,³ Osamu Sato,¹⁰ Marta Sabaté-Gilarte,^{3,11} Matthias
Schott,¹² Anna Sfyrla,⁴ Jordan Smolinsky,⁵ Aaron M. Soffa,⁵ Yosuke Takubo,¹³
Pierre Thonet,³ Eric Torrence,¹⁴ Sebastian Trojanowski,¹⁵ and Gang Zhang¹⁶

FASER W KULTURZE POPULARNEJ



related article



PODSUMOWANIE

- Poszukiwanie nowych lekkich dłużowyciowych cząstek to obecnie bardzo dynamicznie rozwijająca się dziedzina badań zarówno od strony teoretycznej, jak i doświadczalnej
- **FASER** to nowo zaproponowany, niewielki i tani eksperyment w LHC, który poszukiwałby takich lekkich cząstek i tym samym zwiększył potencjał odkrywczy całego LHC już podczas Run 3
- FASER a prace komisji LHC: **wrzesień 2018 – zaakceptowany list intencyjny, grudzień 2018 – Technical Proposal (wstępnie) zarekomendowana do pełnej akceptacji**
- działanie FASERa nie będzie miało żadnego wpływu na obecnie prowadzone badania w LHC i nie musi „rywalizować” z żadnym innym eksperymentem o dostęp do wiązki itp.
- Wiele ciekawych modeli nowej fizyki, które FASER będzie w stanie analizować:
 - popularne modele dla nowych lekkich cząstek (ciemny foton, ciemny Higgs, ciężkie neutralne leptony, ALP-y,...),
 - Bogate powiązania z kosmologią i badaniami nad ciemną materią,
 - Poszukiwanie egzotycznych („niewidocznych”) produktów rozpadu Higgsa z SM,
 - LHC jako eksperyment typu „beam-dump” dla fotonów,
 - Pomiary przekrojów czynnych dla wysokoenergetycznych neutrin z SM.
- Planowane kalendarium prac:
 - Instalacja FASERa podczas LS2 (2019-20) i zbieranie danych Run 3 (150 fb^{-1})
 - $R = 10 \text{ cm}$, $L = 1.5 \text{ m}$, cel: ciemne fotony, bozony cechowania B-L, ALP-y,...
 - Instalacja FASERa 2 podczas LS3 (2023-25) i zbieranie danych HL-LHC (3 ab^{-1})
 - $R = 1 \text{ m}$, $L = 5 \text{ m}$, pełne spektrum modeli m.in.: ciemny Higgs, ciężkie neutralne leptony,...