

Krzysztof Belczyński
1971-2024







Sept 1990 – adventure begins. Mountain, Beluś & Stars ☺



Astronomy

- Undergraduate – Copernicus University in Toruń
- PhD – here in CAMK, with a year long stay in Harvard





Long stay in the US

- Northwestern
- New Mexico State
- Los Alamos
- Univ of Texas, Brownsville

StarTrack – the beginning

Astron. Astrophys. 346, 91–100 (1999)

ASTRONOMY
AND
ASTROPHYSICS

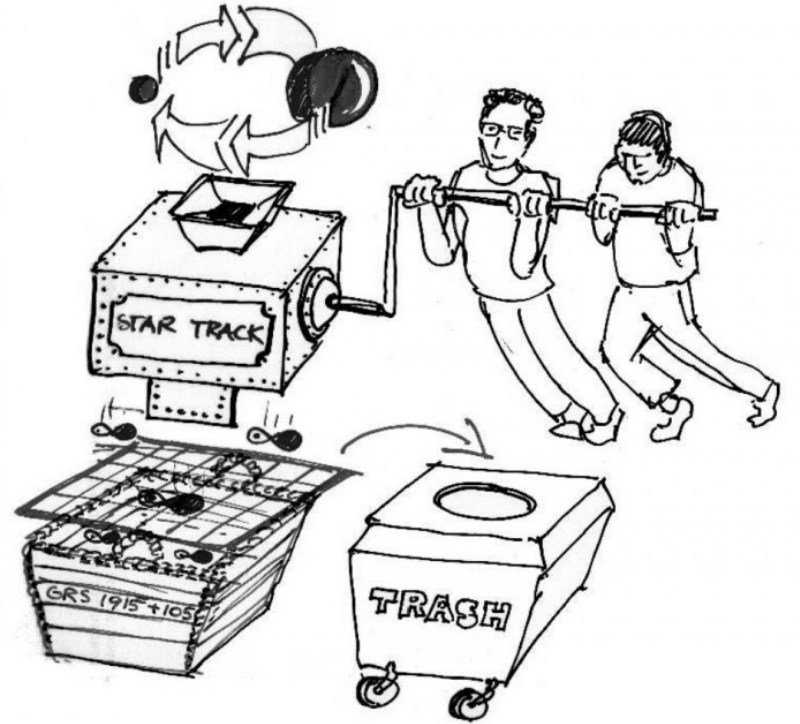
The effect of supernova natal kicks on compact object merger rate

Krzysztof Belczyński and Tomasz Bulik

Nicolaus Copernicus Astronomical Center, Bartycka 18, PL-00-716 Warszawa, Poland

Received 11 August 1998 / Accepted 18 February 1999

La Palma 2002



StarTrack

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 572:407–431, 2002 June 10

© 2002. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

A COMPREHENSIVE STUDY OF BINARY COMPACT OBJECTS AS GRAVITATIONAL WAVE SOURCES: EVOLUTIONARY CHANNELS, RATES, AND PHYSICAL PROPERTIES

KRZYSZTOF BELCZYNSKI,^{1,2,3,4} VASSILIKI KALOGERA,^{1,2} AND TOMASZ BULIK³

Received 2001 November 22; accepted 2002 February 18

ABSTRACT

A new generation of ground-based interferometric detectors for gravitational waves is currently under construction or has entered the commissioning phase (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory [LIGO], VIRGO, GEO600, TAMA300). The purpose of these detectors is to observe gravitational waves from astrophysical sources and help improve our understanding of the source origin and physical properties. In this paper we study the most promising candidate sources for these detectors: inspiraling double compact objects. We use population synthesis methods to calculate the properties and coalescence rates of compact object binaries: double neutron stars, black hole–neutron star systems, and double black holes. We also examine the formation channels available to double compact object binaries. We explicitly account for the evolution of low-mass helium stars and investigate the possibility of common-envelope evolution involving helium stars as well as two evolved stars. As a result we identify a significant number of new formation channels for double neutron stars, in particular, leading to populations with very distinct properties. We discuss the theoretical and observational implications of such populations, but we also note the need for hydrodynamical calculations to settle the question of whether such common-envelope evolution is possible. We also present and discuss the physical properties of compact object binaries and identify a number of robust, qualitative features as well as their origin. Using the calculated coalescence rates we compare our results to earlier studies and derive expected detection rates for LIGO. We find that our most optimistic estimate for the first LIGO detectors reach a couple of events per year and our most pessimistic estimate for advanced LIGO detectors exceed $\simeq 10$ events per year.

Subject headings: binaries: close — black hole physics — gravitational waves — stars: evolution — stars: neutron

StarTrack revision

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES, 174:223–260, 2008 January

© 2008. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.



COMPACT OBJECT MODELING WITH THE STARTRACK POPULATION SYNTHESIS CODE

KRZYSZTOF BELCZYNSKI,^{1,2} VASSILIKI KALOGERA,³ FREDERIC A. RASIO,³ RONALD E. TAAM,^{3,4} ANDREAS ZEAS,⁴
TOMASZ BULIK,⁵ THOMAS J. MACCARONE,^{6,7} AND NATALIA IVANOVA⁸

Received 2005 November 29; accepted 2007 May 28

ABSTRACT

We present a comprehensive description of the population synthesis code StarTrack. The original code has been significantly modified and updated. Special emphasis is placed here on processes leading to the formation and further evolution of compact objects (white dwarfs, neutron stars, and black holes). Both single and binary star populations are considered. The code now incorporates detailed calculations of all mass transfer phases, a full implementation of orbital evolution due to tides, as well as the most recent estimates of magnetic braking. This updated version of StarTrack can be used for a wide variety of problems, with relevance to observations with many current and planned observatories, e.g., studies of X-ray binaries (*Chandra*, *XMM-Newton*), gravitational radiation sources (LIGO, *LISA*), and gamma-ray burst progenitors (*HETE-II*, *Swift*). The code has already been used in studies of Galactic and extragalactic X-ray binary populations, black holes in young star clusters, Type Ia supernova progenitors, and double compact object populations. Here we describe in detail the input physics, we present the code calibration and tests, and we outline our current studies in the context of X-ray binary populations.

StarTrack user group

- How to keep and develop the code?
- Make it semi public!
- Open to joint projects.
- Contact us: startrack@camk.edu.pl

Do binary black holes exist?

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 662:504–511, 2007 June 10

© 2007. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

ON THE RARITY OF DOUBLE BLACK HOLE BINARIES: CONSEQUENCES FOR GRAVITATIONAL WAVE DETECTION

KRZYSZTOF BELCZYNSKI,^{1,2} RONALD E. TAAM,³ VASSILIKI KALOGERA,³ FREDERIC A. RASIO,³ AND TOMASZ BULIK^{4,5}

Received 2006 December 1; accepted 2007 January 31

ABSTRACT

Double black hole binaries are among the most important sources of gravitational radiation for ground-based detectors such as LIGO or VIRGO. Even if formed with lower efficiency than double neutron star binaries, they could dominate the predicted detection rates, since black holes are more massive than neutron stars and therefore could be detected at greater distances. Here we discuss an evolutionary process that could very significantly limit the formation of close double black hole binaries: the vast majority of their potential progenitors undergo a common-envelope (CE) phase while the donor, one of the massive binary components, is evolving through the Hertzsprung gap. Our latest theoretical understanding of the CE process suggests that this will probably lead to a merger, inhibiting double black hole formation. Barring uncertainties in the physics of CE evolution, we use population synthesis calculations and find that the corresponding reduction in the merger rate of double black holes formed in galactic fields is so great (by ~ 500) that their contribution to inspiral detection rates for ground-based detectors could become relatively small (~ 1 in 10) compared to double neutron star binaries. A similar process also reduces the merger rates for double neutron stars, by a factor of ~ 5 , eliminating most of the previously predicted ultracompact NS-NS systems. Our predicted detection rates for Advanced LIGO are now much lower for double black holes ($\sim 2 \text{ yr}^{-1}$), but are still quite high for double neutron stars ($\sim 20 \text{ yr}^{-1}$). If double black holes were found to be dominant in the detected inspiral signals, this could indicate that they mainly originate from dense star clusters (not included here) or that our theoretical understanding of the CE phase requires significant revision.

Subject headings: binaries: close — black hole physics — gravitational waves — stars: evolution — stars: neutron

THE EFFECT OF METALLICITY ON THE DETECTION PROSPECTS FOR GRAVITATIONAL WAVES

KRZYSZTOF BELCZYNSKI^{1,2}, MICHAŁ DOMINIŁ², TOMASZ BULIK², RICHARD O'SHAUGHNESSY³, CHRIS FRYER¹, AND DANIEL E. HOLZ¹

¹ Los Alamos National Laboratory, P.O. Box 1663, Los Alamos, NM 87545, USA

² Astronomical Observatory, University of Warsaw, Al. Ujazdowskie 4, 00-478 Warsaw, Poland

³ Department of Physics, Penn State University, 104 Davey Lab, University Park, PA 16802, USA

Received 2010 April 7; accepted 2010 April 29; published 2010 May 11

ABSTRACT

Data from the Sloan Digital Sky Survey ($\sim 300,000$ galaxies) indicate that recent star formation (within the last 1 billion years) is bimodal: half of the stars form from gas with high amounts of metals (solar metallicity) and the other half form with small contribution of elements heavier than helium ($\sim 10\%–30\%$ solar). Theoretical studies of mass loss from the brightest stars derive significantly higher stellar-origin black hole (BH) masses ($\sim 30–80 M_{\odot}$) than previously estimated for sub-solar compositions. We combine these findings to estimate the probability of detecting gravitational waves (GWs) arising from the inspiral of double compact objects. Our results show that a low-metallicity environment significantly boosts the formation of double compact object binaries with at least one BH. In particular, we find the GW detection rate is increased by a factor of 20 if the metallicity is decreased from solar (as in all previous estimates) to a 50–50 mixture of solar and 10% solar metallicity. The current sensitivity of the two largest instruments to neutron star–neutron star (NS–NS) binary inspirals (VIRGO: ~ 9 Mpc; LIGO: ~ 18) is not high enough to ensure a first detection. However, our results indicate that if a future instrument increased the sensitivity to $\sim 50–100$ Mpc, a detection of GWs would be expected within the first year of observation. It was previously thought that NS–NS inspirals were the most likely source for GW detection. Our results indicate that BH–BH binaries are ~ 25 times more likely sources than NS–NS systems and that we are on the cusp of GW detection.

Key words: binaries: close – gravitation – stars: evolution – stars: neutron

Online-only material: color figures

- 1 2015ApJ...806..263D 2015/06 cited: 364   
[Double Compact Objects III: Gravitational-wave Detection Rates](#)
Dominik, Michal; Berti, Emanuele; O'Shaughnessy, Richard *and 6 more*
- 2 2013ApJ...779...72D 2013/12 cited: 362   
[Double Compact Objects. II. Cosmological Merger Rates](#)
Dominik, Michal; Belczynski, Krzysztof; Fryer, Christopher *and 5 more*
- 3 2012ApJ...759...52D 2012/11 cited: 647   
[Double Compact Objects. I. The Significance of the Common Envelope on Merger Rates](#)
Dominik, Michal; Belczynski, Krzysztof; Fryer, Christopher *and 5 more*

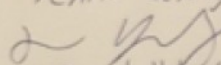


Whereas Chris Belczynski and Daniel Holz believe that astrophysical black holes should not exist in the mass range between 55 and 130 solar masses because of pair instability; and whereas Carl Rodriguez and Sourav Chatterjee believe that such black holes could form in dynamical environments and continue to participate in mergers;

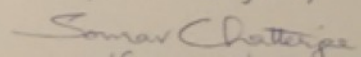
they wager, a \$100 bottle of wine that, within the first 100 GW... compact binary coalescence detections, at least one will have a component in the 55-130 M_{\odot} range. If individual events have mass ranges straddling the interval boundary, the betting parties agree that Ilya Mandel will serve as an arbiter of the statistical evidence.


Signed in Aspen, CO, on 10 Feb 2017

Chris Belczynski,
/Chris Belczynski/


/Daniel Holz/

Carl Rodriguez
/Carl Rodriguez/


/Sourav Chatterjee/

/Witnessed by Ilya Mandel/ 

“How I made the Universe”

KRZYSZTOF BELCZYŃSKI: Kosmos made in Poland JAK STWORZYŁEM WSZECHŚWIAT

Najlepszy sztuczny Wszechświat na świecie jest polski. Właśnie wypełnia się gwiazdami, czarnymi dziurami, galaktykami. Ty też możesz mieć jego fragment we własnym domowym komputerze.

PIOTR CIEŚLIŃSKI

Przewidzieli, że pierwsze fale grawitacyjne, jakie zarejestruje LIGO, to będą oscylacje wywołane przez zderzające się czarne dziury o wyjątkowo dużych masach (nie ma takich w naszej Galaktyce). Co więcej, przewidzieli też, kiedy to się stanie. Nikt w to nie wierzył, ale ich prognoza sprawdziła się co do joty.

Tak, nie ulega wątpliwości, że zespół prof. Krzysztofa Belczyńskiego z Uniwersytetu Warszawskiego znalazł przyszłość. Słodka kula, do której zajrzeli polscy astrofizycy, był... sztuczny Wszechświat. Stworzyli go kilka lat temu w komputerze i wciąż go ulepszają, aby jak najlepiej zgadzał się z obserwacjami astronomicznymi prawdziwego kosmosu. Niezwykle odkrywciały grawitacyjnych jest po prostu, że ten ich modelowy wszechświat jest dobry. Ba, najlepszy na świecie.

Sączywa się StarTrack, opracowaliśmy ostatnich 15 lat. Gdy tylko pojawi się nowe obserwacje albo obliczenia, to je dodaje - mówi prof. Bek. Od 2010 roku pracuje na Uniwersytecie Warszawskim, jest kierownikiem Zakładu Astrofizyki Teoretycznej w Instytucie Astronomicznym. Wcześniej był przez 10 lat w USA, m.in. na Uniwersytecie w Los Alamos.

W swoim tego sztucznego Wszechświata dzieła stworzenia pomagają imiolowice, czyli byli studenci: Grzegorz Wiktorowicz, Dominik, a także jego dawny profesor Tomasz Bulik. Tworzą Wszechświat? W tym wszystkim gwiazdom - mówi prof. Belczyński. Mają różne masy, skład che-

zo masywniejszych układów o całkowitej masie 30-80 mas Słońca. I stanie się to, gdy detektor poprawi czułość i zwiększy zasięg do 50-100 megaparseków (megaparsek to ok. 3,3 mln lat świetlnych). Te przewidywania opublikowali już w 2010 roku.

- I mam, właśnie tak się stało! - cieszy się prof. Belczyński.

Tymczasem wcześniej większość astrofizyków uważała, że pierwszym wykrytym źródłem fal grawitacyjnych będzie zderzenie dwóch gwiazd neutronowych.

- Metoda, której używamy, czyli symulacja populacji gwiazdowych, jest piękna ilustracją tego, jak działa nauka - opowiada prof. Belczyński.

- Wiemy, że gwiazdy się tworzą (bo je obserwujemy, są ich miliardy), ale tak naprawdę do dziś nie ma dobrej teorii, jak to się dzieje. W moich symulacjach muszę jednak mieć pierwotną populację gwiazd, a konkretnie ich masy, skład chemiczny, rotację, promień. Co więc robie? Używam niepełnych informacji obserwacyjnych wraz z niepełną teorią narodzin gwiazd. A gdy mi czegoś brakuje, to po prostu wymyślam model przybliżony, co się zdarza często, bo większości Wszechświata nie rozumiemy. Znamy tylko poszczególne kawałki, ale one nie składają się w jedną całość. To puzzle, które wciąż mają sporo pustych miejsc. Uzupełniamy je dzięki wyobraźni (choć wielu nazwie to logicznym myśleniem czy naukową dedukcją) i budujemy ten model, czyli uproszczone robocze modele tego, czego nie rozumiemy.



WYKORZYSTAJ TO W SZKOLE! PRZECZYTAJ RAZEM Z DZIECKIEM W DOMU. Wskazówki i pytania do tego materiału znajdziesz na stronie programu SZKOŁA Z KLASĄ 2.0: WWW.SZKOŁAZKLASA.PL

RODACY, DO PRACY!

Cheesz wziąć udział w stwarzaniu sztucznego Wszechświata? Pobierz program ze strony Universathome.pl/universe. Twój komputer będzie rachował gwiazdy i czarne dziury, pomożesz astrofizykom w polowaniu na fale grawitacyjne.

model Wszechświata jest bliższy prawdy. Co najmniej w kontekście czarnych dziur.

Polscy astrofizycy dołożyli więc jedną z brakujących części do wielkiej kosmicznej układanki. Przy tym kompletnie zrewidowali dotychczasowe przewidywania, które były oparte na ewolucji gwiazd w Drozdzie Mlecznej. Nasza Galaktyka jest już dość wieloletnia (liczy ok. 10 mld lat), zdarzyła zrodzić kilka pokoleń gwiazd, które wyprodukowały w swoich wnętrzach pierwiastki cięższe od wodoru i helu (astrofizycy zważy metale). Populacje najmłodszych gwiazd mają więc dużą zawartość metali, a to sprzyja, że szybciej tracą masę wskutek bardziej intensywnego wiatru słonecznego. Kiedy kończą życie i zapadają się w czarną dziurę, większość swej masy zdążyły wcześniej odrzucić w kosmos. Dlatego w Drozdzie Mlecznej znajdujemy niewiel-

su, ale jest na to sposób. Studenci prof. Belczyńskiego - Grzegorz Wiktorowicz i Wojciech Gładysz - przystosowali specjalny program, w ramach którego obliczenia są dzielone między wiele komputerów. Każdy chętny może ściągnąć program na swój komputer ze strony Universathome.pl/universe/ i przyczynić się do dzieła stworzenia wirtualnego Wszechświata. Zwykle wykorzystujemy ledwie kilka procent mocy naszych komputerów domowych, reszta się marnuje, a przecież może służyć zbożnym celom. - Mamy już prawie 10 tys. użytkowników - mówi naukowiec. Każdy z nich miał swój drobny wkład w epokowe przewidywania i odkrycie fal grawitacyjnych. Gorąco zachęcamy następnych, kto wie, jakie jeszcze odkrycia przed nami. Otworzyło się zupełnie nowe okno na Wszechświat.

A co widać w szklanej kuli polskich astrofizyków? Co detektory fal grawitacyjnych LIGO i Virgo zobaczą latem, gdy po modernizacji i kolejnym zwiększeniu

Mass gap – and SN mechanism

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 757:91 (6pp), 2012 September 20
© 2012. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in the U.S.A.

doi:10.1088/0004-637X/757/1/91

MISSING BLACK HOLES UNVEIL THE SUPERNOVA EXPLOSION MECHANISM

KRZYSZTOF BELCZYNSKI^{1,2}, GRZEGORZ WIKTOROWICZ¹, CHRIS L. FRYER³, DANIEL E. HOLZ^{4,5}, AND VASSILIKI KALOGERA⁶

¹ Astronomical Observatory, Warsaw University, Al. Ujazdowskie 4, 00-478 Warsaw, Poland; kbelczyn@astrouw.edu.pl

² Center for Gravitational Wave Astronomy, University of Texas at Brownsville, Brownsville, TX 78520, USA

³ Computational Computer Science Division, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, USA

⁴ Enrico Fermi Institute, Department of Physics, and Kavli Institute for Cosmological Physics, University of Chicago, Chicago, IL 60637, USA

⁵ Theoretical Division, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545, USA

⁶ Center for Interdisciplinary Exploration and Research in Astrophysics (CIERA) & Department of Physics and Astronomy,
Northwestern University, 2145 Sheridan Road, Evanston, IL 60208, USA

Received 2011 October 19; accepted 2012 July 27; published 2012 September 6

ABSTRACT

It is firmly established that the stellar mass distribution is smooth, covering the range $0.1\text{--}100 M_{\odot}$. It is to be expected that the masses of the ensuing compact remnants correlate with the masses of their progenitor stars, and thus it is generally thought that the remnant masses should be smoothly distributed from the lightest white dwarfs to the heaviest black holes (BHs). However, this intuitive prediction is not borne out by observed data. In the rapidly growing population of remnants with observationally determined masses, a striking mass gap has emerged at the boundary between neutron stars (NSs) and BHs. The heaviest NSs reach a maximum of two solar masses, while the lightest BHs are at least five solar masses. Over a decade after the discovery, the gap has become a significant challenge to our understanding of compact object formation. We offer new insights into the physical processes that bifurcate the formation of remnants into lower-mass NSs and heavier BHs. Combining the results of stellar modeling with hydrodynamic simulations of supernovae, we both explain the existence of the gap and also put stringent constraints on the inner workings of the supernova explosion mechanism. In particular, we show that core-collapse supernovae are launched within 100–200 ms of the initial stellar collapse, implying that the explosions are driven by instabilities with a rapid (10–20 ms) growth time. Alternatively, if future observations fill in the gap, this will be an indication that these instabilities develop over a longer (>200 ms) timescale.

Key words: stars: neutron – X-rays: binaries

Online-only material: color figure

Last science bet

Melbourne '22

A Bet on SN detections

MAGNIFIQUE
MEETINGS

08.12.2022

Melbourne, GWPAAW

Jade Powell, Chiaki Kobayashi

Whereas Davide Lazzati believes that gravitational waves from supernovae will be detected with a confidence of at least 35 within 5 years from today;

And whereas Chris Belczynski, Tomek Bulik, and Ilya Mandel do not believe this claim; They hereby bet a ~~lot~~ bottle of wine each, with the quality of the wine to determine the quality of the losers.

Signed in Melbourne, Australia, 9:30 PM 08.12.22

Charlie Oulpu¹ JPoull¹ Davide Lazzati¹
/Chiaki Kobayashi/ /Jade Powell/ /Davide Lazzati/

CHRIS BELCZYN. Tom Bulik. Ily Mandel
/Chris Belczynski/ /Tomek bulik/ /Ilya Mandel/

~~Chris~~

To be moderated by *at* Bailes

/Matthew Bailes/

SOFITEL
HOTELS & RESORTS

Japan, Dec 2023



And the other side of life

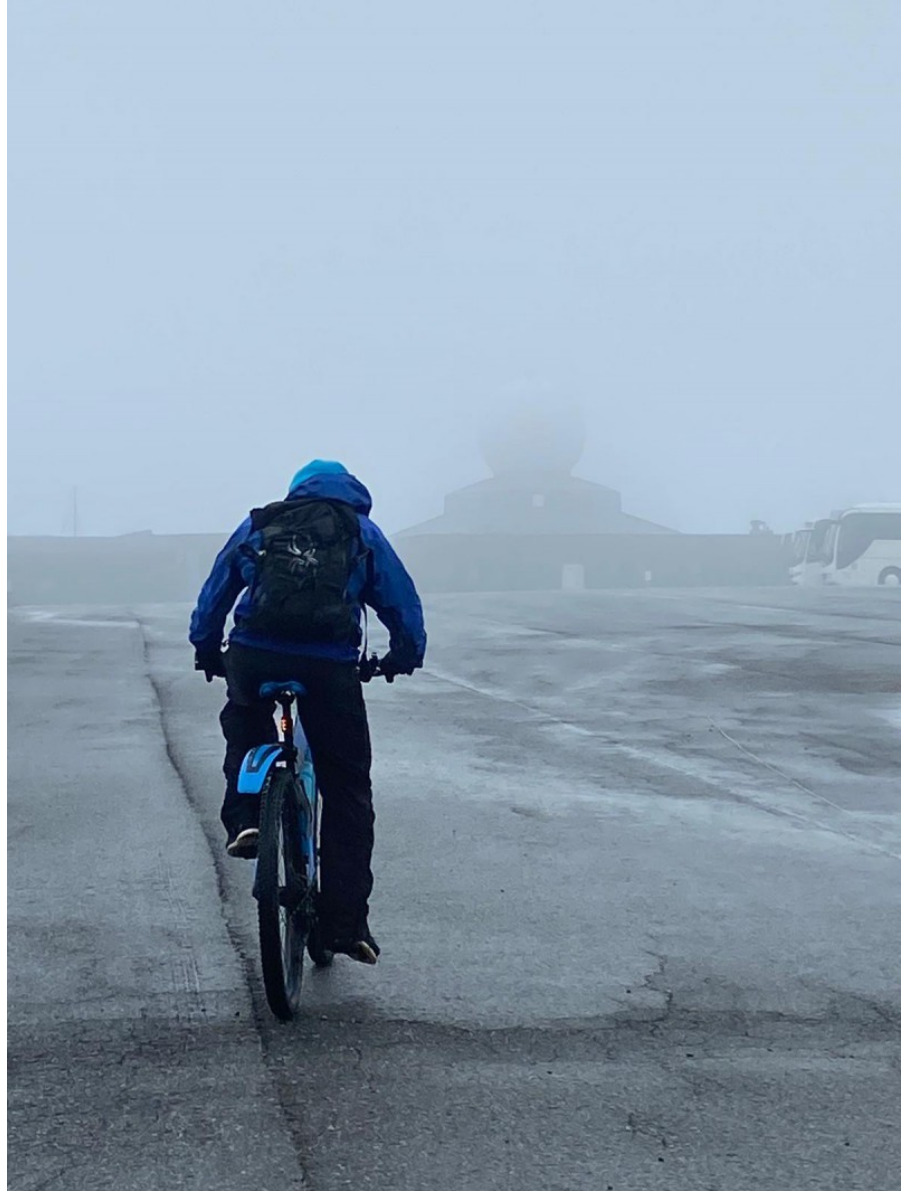














Krzychu, thanks for having been a part of our lives!



Krzysztof Belczynski Doctoral Prize

- We are setting up to start an annual award for best PhD thesis in stellar and gravitational wave astrophysics
- Official announcement to come soon