

Zbigniew TYMIŃSKI<sup>1,2,3</sup>, Agnieszka BURAKOWSKA<sup>4</sup>, Agata M. KRZESIŃSKA<sup>5</sup>,  
Katarzyna TYMIŃSKA<sup>4</sup>, Michał KUĆ<sup>4</sup>, Edward ILLER<sup>1</sup>, Krystin KMIĘCIAK

# Radionuklidy kosmogeniczne w meteorycie Antonin

## Cosmogenic radionuclides in the Antonin meteorite

**Abstract:** The Antonin meteorite fell on July 15, 2021 in Wielkopolska Voivodeship. Its fall was recorded by fireball camera network and the meteorite specimen was recovered soon after, during a dedicated search expedition. Main mass of Antonin was provided for scientific research relatively quickly after recovery, thanks to which the studies of cosmogenic radionuclide concentrations were carried out in the spectrometry laboratory at the National Center for Nuclear Research in Otwock/Świerk. The analyses revealed concentration of  $^7\text{Be}$  and the traces of the cosmogenic radionuclides of  $^{48}\text{V}$  and  $^{51}\text{Cr}$ , whose half-lives are in the range of 15–28 days, clearly confirming the relationship of the specimen with the observed fireball. The relatively high concentrations of  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{57}\text{Co}$  and  $^{54}\text{Mn}$  (half-lives of several months) also confirm the recent fall of the specimen. Additionally, collected radionuclide data allow to estimate pre-atmospheric size of the meteoroid. Distribution of  $^{60}\text{Co}$  and  $^{26}\text{Al}$  indicates a meteoroid chunk with a radius of 20–25 cm. The result of  $^{26}\text{Al}$  measurement suggests that the investigated meteorite fragment comes from a rather shallow depth of this meteoroid. In addition, the original mass of the meteoroid from which the Antonin meteorite originated was estimated to be less than 100 kg, most likely 70 kg.

**Keywords:** meteoroid, fireball, meteorite falls, European Fireball Network

## 1. Wstęp

Dnia 15 lipca 2021 roku po godzinie 5:00 czasu lokalnego, na granicy województw Dolnośląskiego i Wielkopolskiego pojawił się bolid, który został zarejestrowany przez trzy czeskie kamery należące do Europejskiej Sieci Bolidowej (EN). Mimo przechodzącego nad Polską frontu burzowego udało się wyznaczyć parametry dynamiczne meteoroidu, który zniknął za chmurami na wysokości

<sup>1</sup> Narodowe Centrum Badań Jądrowych OR POLATOM, Otwock-Świerk;  
e-mail: z.tyminski@polatom.pl

<sup>2</sup> Pracownia Komet i Meteorów, Polska Sieć Bolidowa, ul. Bartycka 18, Warszawa

<sup>3</sup> Polskie Towarzystwo Meteorologiczne

<sup>4</sup> Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock-Świerk

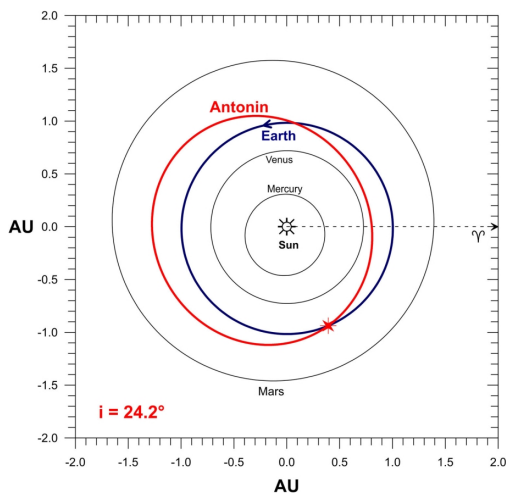
<sup>5</sup> Centre for Earth Evolution and Dynamics, Department of Geosciences, University of Oslo, Norway

około 25 km n.p.m. Wyznaczono początkową wysokość rejestracji – 73,9 km n.p.m. i kąt pod jakim wszedł w ziemską atmosferę – około  $52,4^\circ$  względem płaszczyzny poziomej. Jego prędkość początkową tuż przed zderzeniem z ziemską atmosferą obliczono na 17,8 km/s.

Wyznaczona orbita meteoroidu (rys. 1) wskazała na ciało pochodzące z wewnętrznej części pasa planetoid, z przestrzeni pomiędzy planetami Mars a Wenus (Shrbený i in. 2022). Meteoryt ten został przebadany pod względem składu mineralogicznego i sklasyfikowany jako typ L5 chondrytu zwyczajnego (MetBull 77489; Krzesińska i in. 2022, 2023a). Sam okaz miał kształt przekrojem przypominający skrzydło samolotu. Cechy na jego powierzchni wskazują na to, że przyleciał z kierunku północnego (od strony lasu). Fakt, że znaleziony został dokładnie w przewidzianej przez Czechów lokalizacji wskazuje jednak na lot bez siły nośnej. Ślady po rykoszecie od drzewa sugerują dużą utratę energii kinetycznej i dlatego najprawdopodobniej okaz nie zagłębił się w grunt.

**Rys. 1.** Heliocentryczna orbita EN150721 Antonin rzutowana na płaszczyznę ekliptyki (Shrbený i in. 2022).

**Fig. 1.** Heliocentric orbit of the EN150721 Antonin projected onto the ecliptic plane (Shrbený et al. 2022).



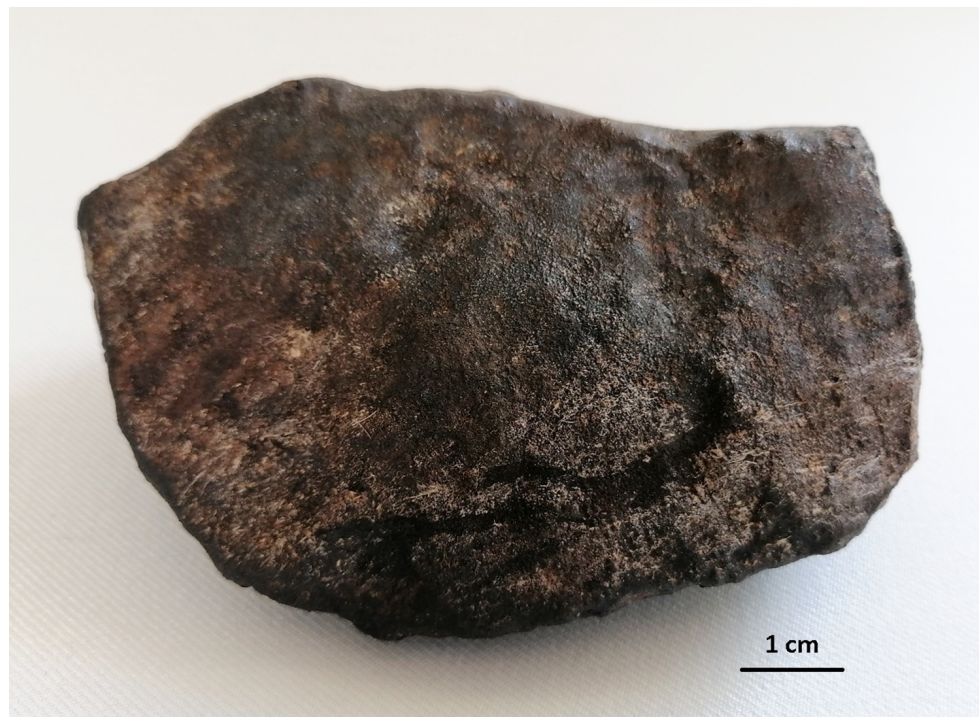
## 2. Okoliczności znalezienia

Niedługo po zarejestrowaniu zjawiska przeprowadzono jego analizę a obliczone pole spadku meteorytów zostało opublikowane na stronie Instytutu Astronomicznego Akademii Nauk Republiki Czeskiej (Astronomický ústav AV ČR Ondřejov). Kilka dni później zorganizowano systematyczne poszukiwania we wskazanej lokalizacji. Wśród poszukiwaczy były zespoły z zagranicy ale ostatecznie tylko Polakom udało się odnieść sukces. Byli to: Andrzej Owczarzak, Michał Nebelski, Jędrzej Kmiecik oraz Kryspin Kmiecik, który okazał się znalazcą jedyne jak dotąd okazu meteorytu z tego spadku. Zespół opublikował raporty z wyprawy poszukiwawczej, które można znaleźć na stronach internetowych (cosmoartel.pl; wreczko.pl) oraz w artykule opublikowanym w *Meteorycie* w roku 2021 (Owczarzak 2021; Shrbený i in. 2022; Bischoff i in. 2022). Odnaleziony okaz

meteorytu był prawie w całości pokryty czarną grubą skorupą obtopieniową (352 g, rys. 2), która nosiła cechy dodatkowych interakcji z okoliczną roślinnością podczas zderzenia. Znalazca donosił o znalezieniu okazu na skraju polnej drogi, przy czym informował o fakcie zagłębienia meteorytu na kilka centymetrów w grunt drogi. Oględziny zewnętrzne znalezionej okazu przeprowadzone przez autora potwierdziły istnienie śladu otarcia powstałego podczas uderzenia – w dolnej części tkwiły wciąż fragmenty pochodzenia roślinnego, prawdopodobnie kory oraz łyka drzewnego. Dodatkowo z boku okazu przyklejone były fragmenty suchej trawy. Ta obserwacja sugeruje, iż meteoryt najprawdopodobniej odbił się od pobliskiego drzewa, uderzył w rosnącą trawę pod lasem i potoczył się na drogę. Taki scenariusz w połączeniu z faktem wciśnięcia w grunt wskazuje na to, iż musiał przejechać po nim samochód (Bingoraj 2022).

### 3. Badania radionuklidów kosmogenicznych

Okaz znalezionej meteorytu został dostarczony przez znalazcę do NCBJ, gdzie w Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych, trzy tygodnie po spadku, wykonano testy na obecność radionuklidów kosmogenicznych. Za pomocą detektora



**Rys. 2.** Meteoryt Antonin przed pomiarami w NCBJ; widoczne otarcia powstałe podczas uderzenia – w dolnej części tkwią fragmenty pochodzenia roślinnego prawdopodobnie kory oraz łyka drzewnego.  
**Fig. 2.** Antonin meteorite before measurements at NCBJ; visible abrasions caused during the impact – in the lower part there are fragments of a plant origin, probably a bark and a wood phloem.

germanowego HPGe GR4520 (Canberra-Mirion) o względnej wydajności 45% (dla energii 1332,5 keV,  $^{60}\text{Co}$ ) i energetycznej zdolności rozdzielczej FWHM 2,0 keV, wykryto w nim obecność 12 nuklidów -promieniotwórczych krótko- i średnio-życiowych. Stężenia promieniotwórcze radionuklidów zostały uzyskane po analizie widma zbieranego w ciągu dwóch tygodni w osłonnej komorze pomiarowej. Wydajność układu pomiarowego została obliczona w oparciu o model komputerowy powstały ze skanu 3D okazu, gęstości meteorytu ( $3,33 \text{ g cm}^{-3}$ ) oraz ze składu pierwiastkowego uzyskanego po analizie składu chemicznego minerałów mikrosondą elektronową Cameca SX-100 i analizie składu modalnego wykonanej na podstawie obserwacji SEM/EDX przy użyciu mikroskopu elektronowego Hitachi SU5000 FEG-SEM. Instrumenty te dostępne były na Wydziale Nauk o Ziemi (Department of Geosciences) Uniwersytetu w Oslo. Wyniki analiz oraz uśredniony skład chemiczny dostępne są w tabeli 1 artykułu Krzesińskiej (2023a). Dane te wraz z cyfrowym modelem detektora, zostały wprowadzone do kodu Monte Carlo MCNP6.2 (Werner i in. 2018; Tymiński i in. 2023a, b).

Stężenia poszczególnych radionuklidów zostały przedstawione w tabeli 1, a uzyskane niepewności wyniosły od 6–8% odpowiednio dla  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{46}\text{Sc}$  oraz  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$  i do 14% dla  $^7\text{Be}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{56}\text{Co}$ . Z tej grupy radionuklidów wyróżnia się  $^7\text{Be}$  (energia 477,60 keV o prawdopodobieństwie emisji BR = 10,44%, BIPM-5), ponieważ zmierzona aktywność  $147 \text{ dpm kg}^{-1}$  jest w nim wysoka w porównaniu do innych świeżych spadków (Laubenstein i in. 2012). Udało się także zidentyfikować sygnał od wanadu  $^{48}\text{V}$  poprzez zarejestrowanie w widmie pików o energii 983,5 keV (BR = 99,85%) oraz 1312,1 keV (BR = 97,5%). W przypadku tego radionuklidu do analizy wybrano przejście o wyższej energii i nieznacznie mniejszym prawdopodobieństwie, gdyż przejście o energii 983,5 keV (BR = 99,85%) interferuje z linią 982,70 keV z tła, pocho-

**Tabla 1.** Radionuklidy kosmogeniczne zmierzone w meteorycie Antonin.

**Table 1.** Cosmogenic radionuclides detected in Antonin meteorite.

Nuklid	Czas połowicznego zaniku	Aktywność* $\text{dpm kg}^{-1}$ ( $\pm 2$ )
$^7\text{Be}$	<b>53,22 dni</b>	<b>147 (16)</b>
$^{22}\text{Na}$	2,603 lat	78,6 (4,9)
$^{26}\text{Al}$	717 tys. lat	49,3 (3,3)
$^{44}\text{Ti}$	60,0 lat	1,12 (0,25)
$^{46}\text{Sc}$	83,79 dni	12,4 (0,9)
$^{48}\text{V}$	<b>15,97 dni</b>	<b>wykryty, ~10,9 (7,6)</b>
$^{51}\text{Cr}$	<b>27,70 dni</b>	<b>wykryty, 84 (34)</b>
$^{54}\text{Mn}$	312,2 dni	74,0 (4,5)
$^{56}\text{Co}$	77,24 dni	6,10 (0,79)
$^{57}\text{Co}$	271,8 dni	7,17 (0,58)
$^{58}\text{Co}$	70,85 dni	12,0 (1,0)
$^{60}\text{Co}$	5,27 lat	3,43 (0,55)

\*  $\text{dpm kg}^{-1}$  – ang. *decay per minute per kilogram* – liczba rozpadów na minutę w kilogramie masy.

dzącą od kwantów g z rozpadu  $^{232}\text{Th}$ . Pomiar  $^{48}\text{V}$  charakteryzował się dużą niepewnością (70%) wynikającą ze statystyki zliczeń.

Kolejnym ważnym radionuklidem zidentyfikowanym w próbce był chrom  $^{51}\text{Cr}$  (energia 320,08 keV), którego sygnał w widmie był wyraźniejszy. Niepewność pomiaru tego radionuklidu przy niższym prawdopodobieństwie emisji (BR = 9,89%) wyniosła ponad 40%.

### 3.1. Wyznaczanie wieku ziemskiego meteorytu Antonin

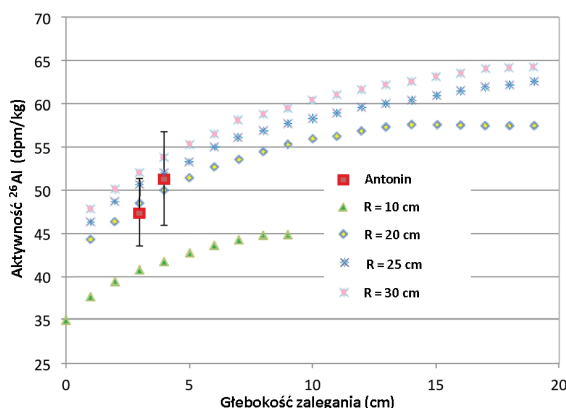
Tworzenie się określonych izotopów stabilnych oraz radionuklidów promieniotwórczych w meteoroidach umożliwia datowanie metodami jądrowymi odnajdowanych na Ziemi meteorytów (Jull 2001, 2006; Tymiński 2001). W przypadku meteorytu Antonin, szczególnie istotne było wyznaczenie czasu ziemskiej rezydencji (ang. *terrestrial age*) czyli czasu jaki upłynął od spadku meteorytu do przeprowadzonego pomiaru. Było to istotne dla potwierdzenia, że znaleziony okaz faktycznie pochodzi z meteoroidu, który wszedł w ziemską atmosferę dnia 15 lipca 2021. Takie podejście jest naszym zdaniem koniecznym postępowaniem w przypadku domniemanego znaleziska meteorytu pochodzącego z obserwowanego bolidu. Niestety tylko część z 46 meteorytów, których spadek był zarejestrowany przez sieci bolidowe (MetBull 2022), przeszła podstawowe badania potwierdzające obecność radionuklidów krótkożyciowych. Jak pokazują ostatnie publikacje, istnieje możliwość przypadkowego znalezienia starego meteorytu w obrębie ostatnio wylczonego pola (Devillepoix i in. 2022). Dzięki temu, że masa główna Antonina przebadana była zaledwie trzy tygodnie po spadku, wyniki analiz pozwalają na jednoznaczne wnioskowanie dotyczące wieku ziemskiego meteorytu. W tym relatywnie szybko przebadanym meteorycie pierwszym radionuklidem, który wykazał krótki wiek ziemski meteorytu Antonin, był izotop berylu  $^7\text{Be}$ . Wysokie stężenie tego radionuklidu sugerowało, że okaz przebywał na Ziemi nie dłużej niż kilka miesięcy. Istotnym jednak było zanotowanie śladowych ilości radionuklidów o krótszym okresie połowicznego zaniku, a zatem ograniczającym wiek ziemski do zaledwie miesiąca –  $^{48}\text{V}$  (15,97 dni) oraz  $^{51}\text{Cr}$  (27,70 dni). Oba radionuklidy  $^{48}\text{V}$  i  $^{51}\text{Cr}$  potwierdziły związek znalezionej próbki z zaobserwowanym bolidem wyznaczając czas przebywania na Ziemi na okres około 1 miesiąca przed datą przeprowadzonego pomiaru.

## 4. Oszacowanie rozmiarów meteoroidów przed zderzeniem z Ziemią

Badania stężeń radionuklidów promieniotwórczych w odnajdowanych niedługo po spadku meteorytach, mogą pozwolić na określenie pierwotnego rozmiaru meteoroidu (przed jego wejściem w atmosferę, ang. *preatmospheric radius*). Jest to związane z faktem, że tempo produkcji izotopów kosmogenicznych zależy od wielkości meteoroidu/planetoidy oraz głębokości zalegania (ekranowania) w jego ciele (ang. *shielding depth*). Oznacza to, że oddziaływanie cząstek zmienia się wraz z głębokością pod powierzchnią meteoroidu/ planetoidy, a zatem ilość wytwarza-

nych radionuklidów na danej głębokości jest funkcją wielkości obiektu w przestrzeni kosmicznej. Znając wyniki stężeń radionuklidów o różnej wrażliwości na ekranowanie, przede wszystkim  $^{60}\text{Co}$  oraz  $^{26}\text{Al}$ , można oszacować wielkość obiektu przed wtargnięciem w atmosferę.

W przypadku meteorytu Antonin wyniki otrzymane metodami spektrometrii promieniowania wykazały stosunkowo małe stężenie  $^{26}\text{Al}$ , które odpowiada najbliższemu stężeniu jakie wymodelowano (Alexeev i in. 2008) dla bryły meteoroidu o rozmiarach 20–25 cm. Natomiast zawartość  $^{60}\text{Co}$  jest w Antoninie nieco większa niż w chondrytach typu L o promieniu meteoroidu mniejszym niż 20 cm (Alexeev i in. 2012). Biorąc pod uwagę interpretacje  $^{26}\text{Al}$  i  $^{60}\text{Co}$  można wnioskować, że meteoroid miał promień mniejszy niż 30 cm, prawdopodobnie nawet mniejszy niż 25 cm, w zależności od zastosowanego modelu (Alexeev i in. 2012; Eberhardt i in. 1963; Spergel i in. 1982, 1986). Oznacza to, że Antonin nie pochodzi z dużego meteoroidu.



**Rys. 3.** Zależność aktywności promieniotwórczej  $^{26}\text{Al}$  w funkcji promienia meteoroidu  $R$  i głębokości jego zalegania w bryle meteoroidu; na wykresie przedstawiono wyniki zawartości  $^{26}\text{Al}$  dla symulowanych promieni meteoroidu: 10, 20, 25 i 30 cm (Alexeev i in. 2008).

**Fig. 3.** The dependence of the  $^{26}\text{Al}$  activity as a function of the meteoroid radius  $R$  and its deposition depth in the meteoroid's body; the graph shows the results of  $^{26}\text{Al}$  concentrations for simulated meteoroid radii: 10, 20, 25 and 30 cm (Alexeev et al. 2008).

## Podsumowanie

Meteoryt Antonin, który spadł 15 lipca 2021 roku stosunkowo szybko trafił do badań na obecność radionuklidów kosmogenicznych. W jednym z laboratoriów spektrometrii w NCBJ w Otwocku/Świerku przeprowadzone zostały badania radionuklidów. W przypadku Antonina stężenie  $^7\text{Be}$  oraz wyraźne ślady kosmogenicznych radionuklidów  $^{48}\text{V}$  i  $^{51}\text{Cr}$ , których czas połowicznego zaniku mieści się w przedziale 15–28 dni, wskazują jednoznacznie na związek okazu z zaobserwowanym meteorem. Mimo dużej niepewności pomiaru zgodność uzyskanych wyników jest wyraźna. Dodatkowo  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{57}\text{Co}$  i  $^{54}\text{Mn}$ , o czasie rozpadu rzędu kilku miesięcy, obecne w próbce w wysokich stężeniach i pomierzone z nie-

wielkimi niepewnościami 4–6%, potwierdzają, że spadek badanego meteorytu nastąpił niedługo przed pomiarem.

Oszacowane rozmiary meteoroidu wskazują na bryłę o promieniu 20–25 cm. Ponadto wynik pomiaru  $^{26}\text{Al}$  sugeruje, że badany fragment pochodzi raczej z przy powierzchniowej warstwy tego meteoroidu niż z jego wnętrza. Dodatkowo, na podstawie krzywej blasku, oszacowano że pierwotna masa meteoroidu była mniejsza niż 100 kg. Najprawdopodobniej ciało, które weszło w atmosferę Ziemi 15 lipca 2021 miało masę około 70 kg.

## Podziękowania

Składamy podziękowania Pani dr inż. Katarzynie Łuszczek z Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej za cenne uwagi dotyczące pracy.

Podziękowania należą się wszystkim, którzy przyczynili się do odnalezienia meteorytu Antonin i do dostarczenia go do NCBJ, w szczególności Andrzejowi Owczarakowi, Marcinowi Stolarzowi, Arkowi Bingorajowi, Łukaszowi Smule oraz Tomkowi Kubalczakowi, jak również pozostałym, którzy w poszukiwaniach meteorytów pomagali.

## Literatura

- Alexeev V.A., Gorin V.D., Ivliev A.I., Kashkarov L.L., Ustinova G.K., 2008, *Recently Fallen Bukhara (CV3) and Kilabo (LL6) Chondrites: A Parallel Study of Luminescence, Tracks, and Cosmogenic Radionuclides*, *Geochemistry International*, 46(9), s. 849–866.
- Alexeev V.A., Gorin V.D., Ivliev A.I., Kashkarov L.L., Ott U., Sadilenko D.A., Ustinova G.K., 2012, *Integrated Study of the Thermoluminescence, Noble Gases, Tracks, and Radionuclides in the Fresh Fallen Ash Creek L6 and Tamdakht H5 Chondrites*, *Geochemistry International*, 50, s. 105–24.
- Bingoraj A., 2022, informacja prywatna.
- Bischoff A., Patzek M., Peters S.T.M., Barrat J.-A., Di Rocco T., Pack A., Ebert S., Jansen C.A., Kmiecik K., 2022, *The chondrite breccia of Antonin (L4-5) – A new meteorite fall from Poland with a heterogeneous distribution of metal*, *Meteoritics and Planetary Science*, 57, s. 127–142.
- Devillepoix H., Anderson S., Towner M., Shober P., Jull A., Laubenstein M., Sansom E., Bland P., Cupák M., Howie R., Hartig B., Newsam G., 2022, *Minimoon still on the loose*, arXiv:2207.04891.
- Eberhardt P., Geiss J., Lutz H., 1963, *Neutrons in meteorites*, *Earth Science and Meteoritics*, North-Holland, Amsterdam, s. 143–168.
- Jull A. J. T., 2001, *Terrestrial ages of meteorites*, *Accretion of Extraterrestrial Matter Throughout Earth's History* (B. Peucker Ehrenbrink and B. Schmitz, eds.), pp. 241–266. Kluwer, New York.
- Jull A.J.T., 2006, *Terrestrial Ages of Meteorites*, *Meteorites and the Early Solar System II*, edited by D.S. Lauretta and H.Y. McSween, University of Arizona Press, s. 889–906.
- Krzesińska A.M., 2023a, *Charakterystyka petrologiczna i chemiczna meteorytu Antonin – klasyfikacja oraz zarys historii termicznej i uderzeniowej*, *Acta Societatis Metheoriticae Polonorum*, 14, s. 114–133.

- Krzesińska A.M., Tymiński Z., 2023b, *Meteoryt Antonin – 350 g unikatowej informacji o tym, skąd mogą pochodzić i dlaczego docierają na Ziemię chondryty L*, Meteoryt, 103, <http://www.meteoryt.info>
- Laubenstein M., 2012, *Cosmogenic Radionuclides in the Soltmany L6 meteorite*, Meteorites, 2, s. 45–51.
- Owczarzak A., 2021, *Nowy spadek w Polsce*, Meteoryt, 101, s. 15.
- Šhrbený L., Krzesińska A.M., Borovička J., Spurný P., Tymiński Z., Kmieciak K., 2022, *Analysis of the daylight fireball of July 15, 2021, leading to a meteorite fall and find near Antonin, Poland, and a description of the recovered chondrite*, Meteoritics & Planetary Science, 57(12), s. 2108–2126.
- Spergel M.S., Reedy R.C., Lazareth O.W., Levy P.W., 1982, *Cosmic-Ray Produced Cobalt-60 in Chondrites*, Lunar and Planetary Science XIII, s. 756–757, Abstract.
- Spergel M.S., Reedy R.C., Lazareth O.W., Levy P.W., Slate L.A. 1986, *Cosmogenic Neutron-Capture-Produced Nuclides in Stony Meteorites*, Journal of Geophysical Research, 91, s. 483–494.
- Tymiński Z., 2001, *Metody jądrowe stosowane przy rozpoznawaniu i datowaniu meteorytów*, Meteoryt, 38.
- Tymiński Z., Hult M., Krzesińska A.M., Tymińska K., Lutter G., Saganowski P., Marissens G., Stroh H., Burakowska A., Ziemek T., Stachowicz M., El-Mallul A., et al., 2023a, *Underground Radioactivity Measurements of Meteorites: Development of Methods Suitable to Determine Precise Terrestrial Age of Recent Falls*, Applied Radiation and Isotopes, 195 (2023) 110733
- Tymiński Z., Tymińska K., et al., 2023b, *Monte Carlo modeling of HPGe detector efficiencies using voxel numerical model*, (w przygotowaniu).
- Werner C.J., et al., 2018, MCNP Version 6.2 Release Notes. Los Alamos National Laboratory report LA-UR-18-20808.
- Wiśniewski M., Żołądek P., Olech A., Tymiński Z., Maciejewski M., Fietkiewicz K., Rudawska R., Gozdalski M., Gawroński M., Suchodolski T., Myszkiewicz M., Stolarz M., Polakowski K., 2017, *Current status of Polish Fireball Network*, Planetary and Space Science, 143, s. 12–20.

### Źródła internetowe

EN, [https://www.asu.cas.cz/-meteor/bolid/2021\\_07\\_15](https://www.asu.cas.cz/-meteor/bolid/2021_07_15)

BIPM-5, Monographie BIPM-5, Vol. 1-8 (2004-2016)

Metbull, [www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php](http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php)

Metbull 77489, [www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?&code=77489](http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?&code=77489)