

The Hypatia Project: a saga of diamonds, hot metals and strange carbons from the strewnfield of the SW Egyptian Sahara

The Hypatia Working Group

(Compiler: Marco AG Andreoli)

The identification of the extraterrestrial origin of a small, ca. 30 grams black stone largely consisting of nano- and microdiamonds and amorphous carbon [1, 2] from the area of the controversial Libyan Desert Glass (LDG) [3, 4], spurred a growing number of investigations both on the origin and history of this most unusual type of meteorite fragment, and on its relation to the LDG strewnfield. The stone, nicknamed Hypatia, is in the process of being registered as an official meteorite by the Meteoritical Society, a procedure somehow still hampered by the less than required 20% of the original find being currently available to the Museo del Cielo e della Terra.

In peer-reviewed articles [5, 6] Hypatia is described as consisting of coagulated interstellar dust of two separate types, chemically distinct and both thermally unprocessed. More significantly, the bulk chemistry of these two components differs from that of the Solar Nebula, as interpreted from the trace elements in the Sun and in the most primitive CI chondrites. Current research focuses on the crystallography of Hypatia [P. Antignani, this meeting] and its astrochemistry, with a paper recently submitted to *Icarus* reporting the possible presence of 'Type Ia' supernova outflow matter in Hypatia. Cosmogenic element abundances coupled to noble gases, nitrogen isotopic ratios in Hypatia further indicate: a) diamond formation from amorphous carbon by a shock collision in space, b) an affinity of Hypatia to the controversial ureilite meteorites, and c) that the size of the parent was at least a few m in diameter [2, 7]. Adding to the complexity, the stone is extensively cracked, with some fractures carrying quenched metals, phosphides, puzzling organic structures of uncertain origin [6] as well as clay minerals and iron oxides typical of the desert environment [1, 6].

A parallel investigation to search for additional Hypatia-related material is in progress, targeting *in situ* breccia, pebbles, boulders, soils and palaeosols collected in the LDG area, in the Qaret El Hanash inselberg and in the Gilf Kebir plateau, ca. 160 km further south. Significant finds in the breccias include Fe-Cr-Ni alloys, metallic Al [9, 10], and unusual Fe and Ni silicates (Chown, L., unpubl. data). The acid digestions of a palaeosol sample followed by bromoform ($D=2.89 \text{ g/cm}^3$) separation yielded a copious fraction of most unusual metallic and carbonaceous particles, in addition to pyrite the more typical heavy minerals found in sandstones (ilmenite, rutile, zircon, Al-silicates). These "exotic" particles include never seen before in nature (N, Cl, S-) glassy carbon, aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), tetragonal amorphous carbon (ta-C), silicon carbides with silicon inclusions and sintered aggregates of spherules/flakes of metals and their alloys (Ti, Al, Si, Ag, Bi, Pb, Cu) [11, 12]. Such metallic aggregates may exceed 1 mm in length and carry encrustations of glassy carbon filaments that may display ductility under the SEM beam. In addition, boulders and rock fragments of a ultra-high T, mullite-magnetite-tridymite melt rock from the Gilf Kebir [13] was found to host abundant microdiamonds [14], structurally unusual carbonaceous matter (ta-c, aliphatic hydrocarbons, PAHs; Antignani P., unpubl. data) and a gamut of new Al, Fe silicates and phosphates not matched in the www.mindata.org database (Belyanin, G., unpubl. data). Even though some of these reduced metals/minerals and mineraloids reported above may be the products of lightning strikes, many others have never been described before among the products of extreme (UHTP, pyrometamorphism, lightning-induced) metamorphism.

A working hypothesis to explain the findings in the breccia and in the soil-hosted debris possibly envisages two separate, eroded meteorite impact structures at least 150 km apart, one on Pan-African rocks in the Uweinat massif south of the Gilf Kebir, and perhaps a second one close to the Qaret el Hanash (see R. Serra, this symposium). Erosion of the former structure released impact-related debris (as boulders, pebbles, heavy minerals, granular metals and mineraloids) that a palaeoriver transported north toward the area where the LDG is also found [15]. The second impact structure is represented instead by metals-injected breccias [9, 10] and rare finds of shocked quartz in bedrock of the LDG area [16]. Finally, any conclusive link between these two proposed impacts, the Hypatia meteorite fragment and the LDG strewnfield remains tantalizingly elusive even though the only possible source of the high-Al orthopyroxene relics found in the LDG [17] is represented by the UHTP granulites exposed on the abovementioned Uweinat massif [18].

[1] Kramers, J.D. et al. (2013), *EPSL* 382, 21-31. [2] Avice, G. et al. (2015). *EPSL* 432, 243-253. [3] Barakat A. (2012). The precious gift of meteorites and meteorite impact processes. Nova Science Publishers. [4] Saul, J.M. (2018) *International Geol. Review*, <https://doi.org/10.1080/00206814.2018.1512057>. [5] Andreoli, M.A.G. et al. (2015) *NIMPR B* 363, 79-85. [6] Belyanin, G. et al., (2018). *GCA* 223, 462-492. [7] Kramers et al. (2021). *Goldschmidt Conf. Paris 2021 (Abstr.)*. [8] Bamford, M. et al. (2014) *PSSA Conf. University of the Witwatersrand (Abstr. p. 9)*. [9] El-Kammar, A. et al. (2004), 7th Intern. Conf. *Geology Arab World, Cairo Univ., Abstr. 1-7*. [10] Barakat, A., 2018. *Meteorite impact signs in Libyan glass*, 143 pp. [11] Andreoli, M.A.G. et al. (2017) *LPS Conf. XLVIII (Abst. 1045)*. [12] Andreoli, M.A.G. et al. (2018). *Diamond Conf. Dubrovnik (Abst. P5.23)*. [13] Ferrière, L. et al. (2009) 72nd Annual Meteoritical Soc. Meeting, Abstr. 5384. [14] Erasmus, R. et al. (2017). *SAIP 2017 Conference, Univ. Stellenbosch, Abst ID 411*. [15] Sighinolfi, G.P. et al. (2020). *MAPS*, doi: 10.1111/maps.13550, 19 pp. [16] Koeberl, C. and Ferrière, L. (2019). *MAPS* 54, 2398-2408. [17] Greshake, A. et al. (2010). *MAPS* 45, 973-989. [18] Karmakar, S. and Schenk, V. (2015). *J. Petrology* 56, 17003-1742.

Il Progetto Hypatia: una saga di diamanti, metalli bollenti e strain tipi di carbonio nei suoli vecchi e nuovi del Sahara del sudovest Egiziano.

L'identificazione dell'origine extraterrestre di una piccola (30 g) pietra nera consistente principalmente di nano- e microdiamanti e carbonio amorfo [1, 2] nell' area del controverso Vetro del Deserto Libico (VDL) [3, 4], ha stimolato un crescent numero di investigazioni sia dell'origine e storia di questo stranissimo tipo di meteorite, e anche della sua relazione con I frammenti di VLD rinvenuti nella stessa area. La pietra, chiamata informalmente Hypatia, e' in procinto di essere ufficialmente accettata come meteorite dalla Meteoritical Society. La procedura e' resa pero' complessa perche' il Museo del Cielo e della Terra ha disponibile una massa al di sotto del 20 per cento richiesto dalla Meteoritical Society.

Come da articoli pubblicati in prestigiose riviste, Hypatia consiste di due tipi di polvere interstellare coagulata, chimicamente differenti ma entrambi non riscaldati come le tipiche meteoriti [5, 6]. Aspetto ancor piu' interessante, la composizione chimica dei due component differisce da quella della Nebula Solare, come viene desunta dagli elementi in traccia presenti nel Sole e nelle meteoriti condritiche piu' primitive, quelle del tipo CI. Ricerca in corso e' focalizzata sulla cristallografia di Hypatia [P. Antignani, questo convegno] and le sue caratteristiche astrochimiche. In un manoscritto recentemente proposto per pubblicazione alla rivista *Icarus* si riporta la possibile presenza di materia emessa da un supernova di 'Type Ia'. Le abbondanze degli elementi cosmogenici, considerate assieme a quelle dei gas nobili e I rapporti isotopici dell'azoto rivelano anche che: a) la formazione dei diamanti a partire dal carbonio amorfo fu causata da una violenta collisione in spazio, b) si riscontrano delle affinita' tra Hypatia e le ureilite, un tipo di rare meteoriti a

cui origine e' molto dibattuta, e c) che Hypatia e' solo un frammento di un meteorite originario con un minimo diametro di alcuni metri [2, 7]. In aggiunta alla sua complessita', la pietra e' intensamente fratturata, con alcune fratture che racchiudono metalli fusi rapidamente raffreddati, fosfuri di nickel, sconcertanti strutture organiche di origine incerta [6] oltre a minerali argillosi e ossidi ferrosi tipici di ambiente desertico [1, 6].

Una investigazione parallela prosegue nel frattempo per la ricerca di materiali in qualche modo collegati a Hypatia, mirando allo studio di breccie *in situ*, ciottoli, macigni, suoli e palaeosuoli raccolti in area del VDL, nell'inselberg Qaret el Hanash, e nell'altopiano del Gilf Kebir, circa 160 km piu' a sud. Fra le scoperte significative nelle breccie vi sono granuli di leghe metalliche (Fe-Cr-Ni), alluminio metallico ([9, 10], e rari silicati di Fe/Ni [Chown, L., dati non pubblicati]. La dissoluzione in acido di un campione di paleosuolo seguita da una separazione al bromoformio ($D=2.89 \text{ g/cm}^3$) ha poi fornito una abbondante frazione di particelle metalliche e carboniose assolutamente fuori dall'ordinario, assieme a granuli di pirite e a minerali pesanti tipici delle arenarie (ilmenite, rutilo, zirconio, e alluminosilicati). Queste particelle "esotiche" comprendono particelle di carbonio vetroso ricche in azoto +/- cloro e zolfo mai prima riportate, idrocarburi alifatici e policiclici aromatici (PA), carbonio amorfo tetraedrale (ta-C), moissanite con inclusioni di silicio, e aggregati di sferule sinterizzate/scaglie di metalli (Ti, Al, Si, Ag, Bi, Pb, Cu) [11, 12]. Questi aggregati metallici possono eccedere 1 mm in lunghezza e portano incrostazioni di filamenti di carbonio vetroso che si dimostra duttile se osservato col microscopio elettronico. Inoltre, macigni e frammenti di una roccia a mullite-magnetite-tridymite cristallizzata da un fuso ($T>1600^\circ\text{C}$), raccolta nel Gilf Kebir [13], ospita abbondanti microdiamanti [14], granuli carboniosi strutturalmente complessi (ta-C, idrocarburi alifatici e PA; Antignani P., dati non pubblicati) e silicati e fosfati di Fe, Al senza riscontro nel catalogo www.mindata.org (Belyanin, G., dati non pubblicati). Sebbene taluni di questi metalli/minerali e mineraloidi qui menzionati potrebbero esser stati causati da fulmini, la maggioranza di questi e' ignota fra i prodotti di metamorfismo estremo (ultra-alta pressione-temperatura, pirometamorfismo).

Un'ipotesi di lavoro che spieghi le scoperte nei paleosuoli, nelle breccie e nei detriti rocciosi sembrerebbe richiedere due diverse ma erose strutture da impatto separate da almeno 150 km, una localizzata in rocce Pan-Africane nel massiccio dell'Uweinat a sud del Gilf Kebir, e l'altra nelle vicinanze del Qaret el Hanash (R. Serra, questo convegno). L'erosione della prima ha liberato detrito (macigni, ciottoli, granuli di metalli/minerali e mineraloidi) trasportato verso nord da un paleo-fiume verso l'area del VDL [15]. Il secondo impatto e' rappresentato invece dalle breccie con grani di metalli [9, 10] e dai rari ritrovamenti di quarzo con lamelle da shock in rocce in posto [16]. In conclusione, ogni collegamento fra questi due proposti impatti, il frammento meteoritico Hypatia, e il VDL rimane allettante ma elusivo, sebbene la sola possibile provenienza dei relitti di ortopirosseno alluminifero scoperti nel VDL [17] e' rappresentata, anche in questo caso, dalle rocce del massiccio dell' Uweinat [18].