

**«Ciò che rende perfetto ogni lavoro è la
cottura e la macinazione»**

Le antiche radici della meccanochimica.

Lucia Maini

Dipartimento di Chimica « Giacomo Ciamician »

Lunedì 12 febbraio 2024



**GRUPPO NAZIONALE DI FONDAMENTI E
STORIA DELLA CHIMICA**

«Ciò che rende perfetto ogni lavoro è la
cottura e la macinazione»

Le antiche radici della meccanochimica.



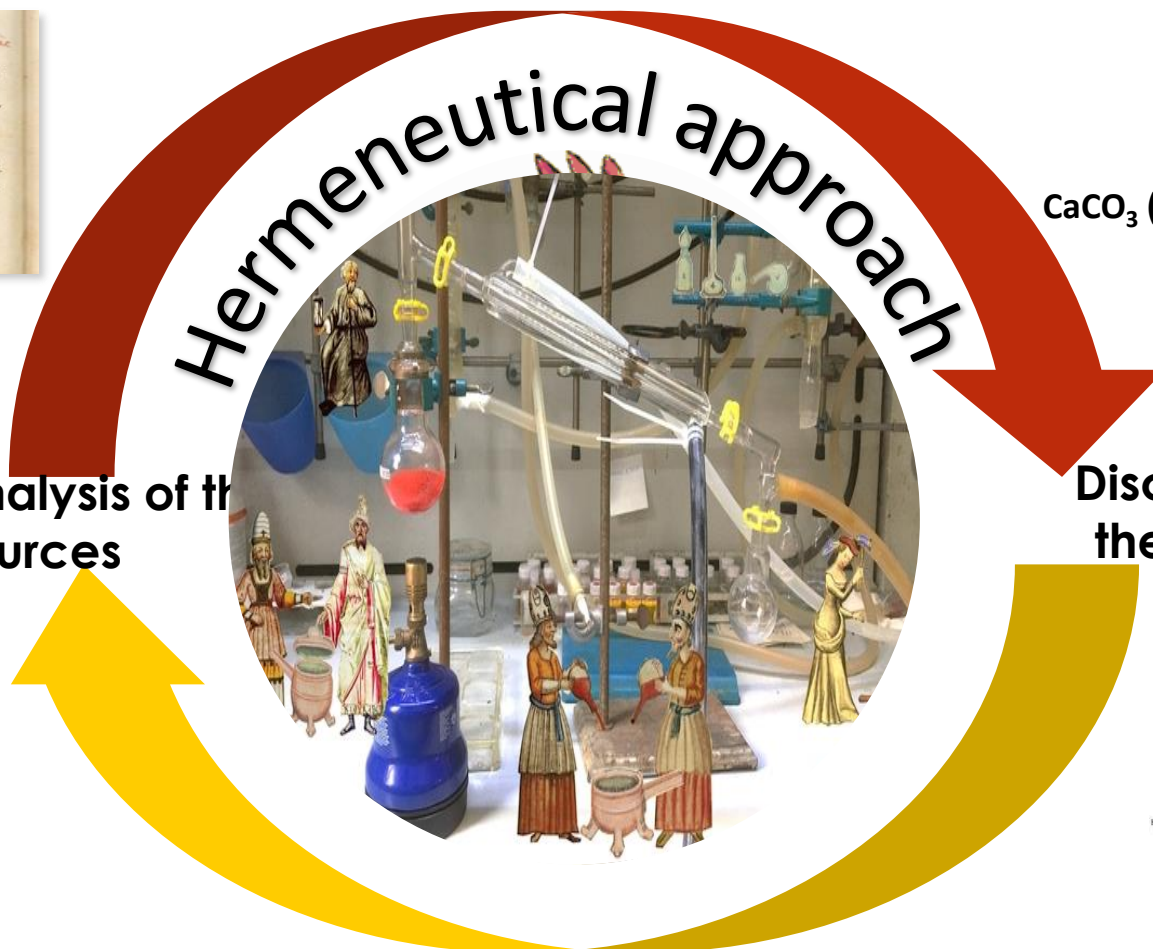
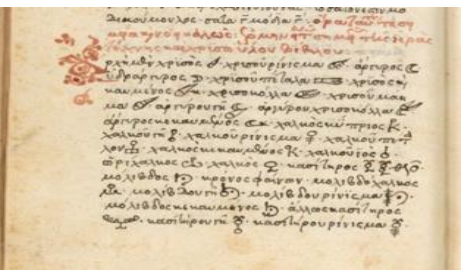
Marianna MARCHINI, Massimo GANDOLFI, Giacomo MONTANARI, Lucia RAGGETTI, Matteo MARTELLI



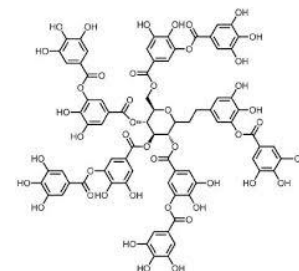
European Research Council
Established by the European Commission



HERMENEUTICAL APPROACH



Discussion with the chemists



careful textual analysis of the ancient sources



Replication in the lab



Mercury extraction from Cinnabar



Cinnabar HgS



THE SOURCES

Origins of Alchemy in the Graeco-Roman Egypt (1st-4th c. CE)



Theophrastus



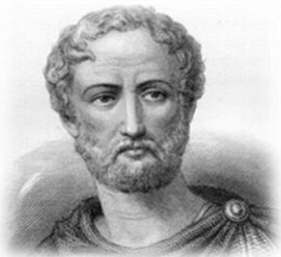
Leiden Papyrus
Stockholm Papyrus



Dioscorides



Pseudo-Democritus
4 Books on Dyeing
Zosimus of Panopolis
28 Books on Chemeia



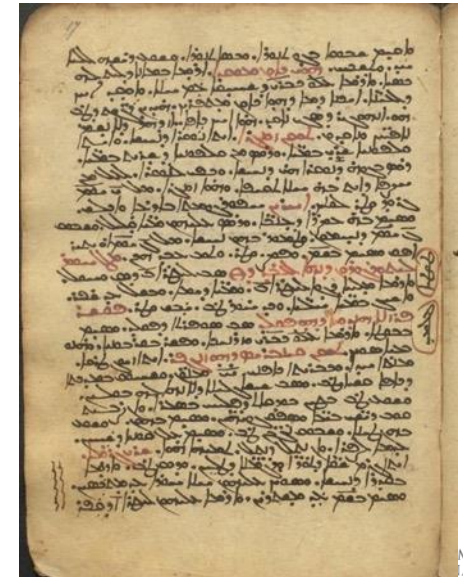
Pliny the Elder



Byzantine tradition



Syriac tradition



The first mecanochemical reaction

Archaeotechnology | [Published: January 2000](#)

Quicksilver from cinnabar: The first documented mechanochemical reaction?

[Laszo Takacs](#)

[JOM](#) **52**, 12–13 (2000) | [Cite this article](#)

606 Accesses | **61** Citations | [Metrics](#)



JOM

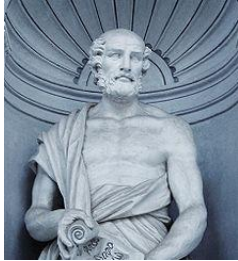
The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)



Expert in mechanical alloying
and mechanically activated
self-propagating reactions



Extraction of mercury



Theophrastus III BC
On Stones
(Lap. 60 Eichholz)



Pliny the Elder 23-79 AD
Natural History
(NH xxxiii 123)

ἄργυρος χυτὸς ποιεῖται δὲ ὅταν
<κιννάβαρι> τριφθῆ μετ' ὄξους
ἐν ἀγγείῳ χαλκῷ καὶ δοίδυκι
χαλκῷ.

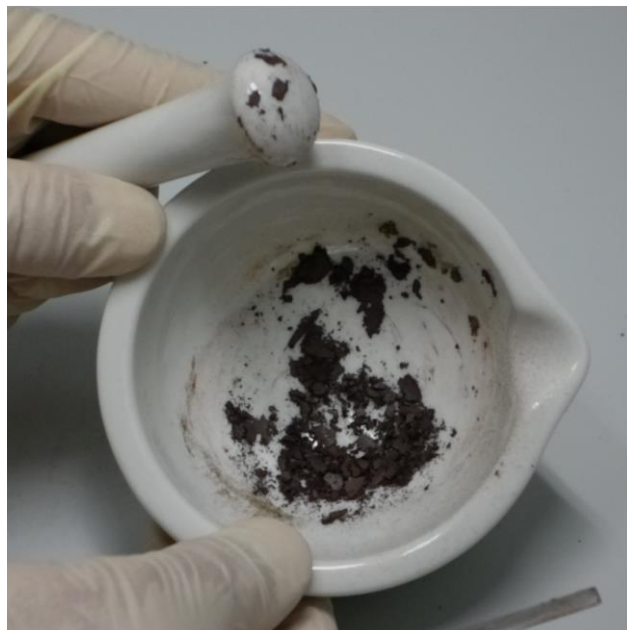
“L'argento liquido (i.e. argentovivo) è prodotto quando <il cinabro> è triturato con l'aceto in un mortaio di rame con un pestello di rame”.

Fit autem (scil. argentum vivum) duobus modis: aereis mortariis pistillisque trito minio ex aceto aut...

“Si ottiene in due modi, per macinazione del *minium* (i.e. cinabro) in aceto con un pestello di rame un mortaio di rame o...”

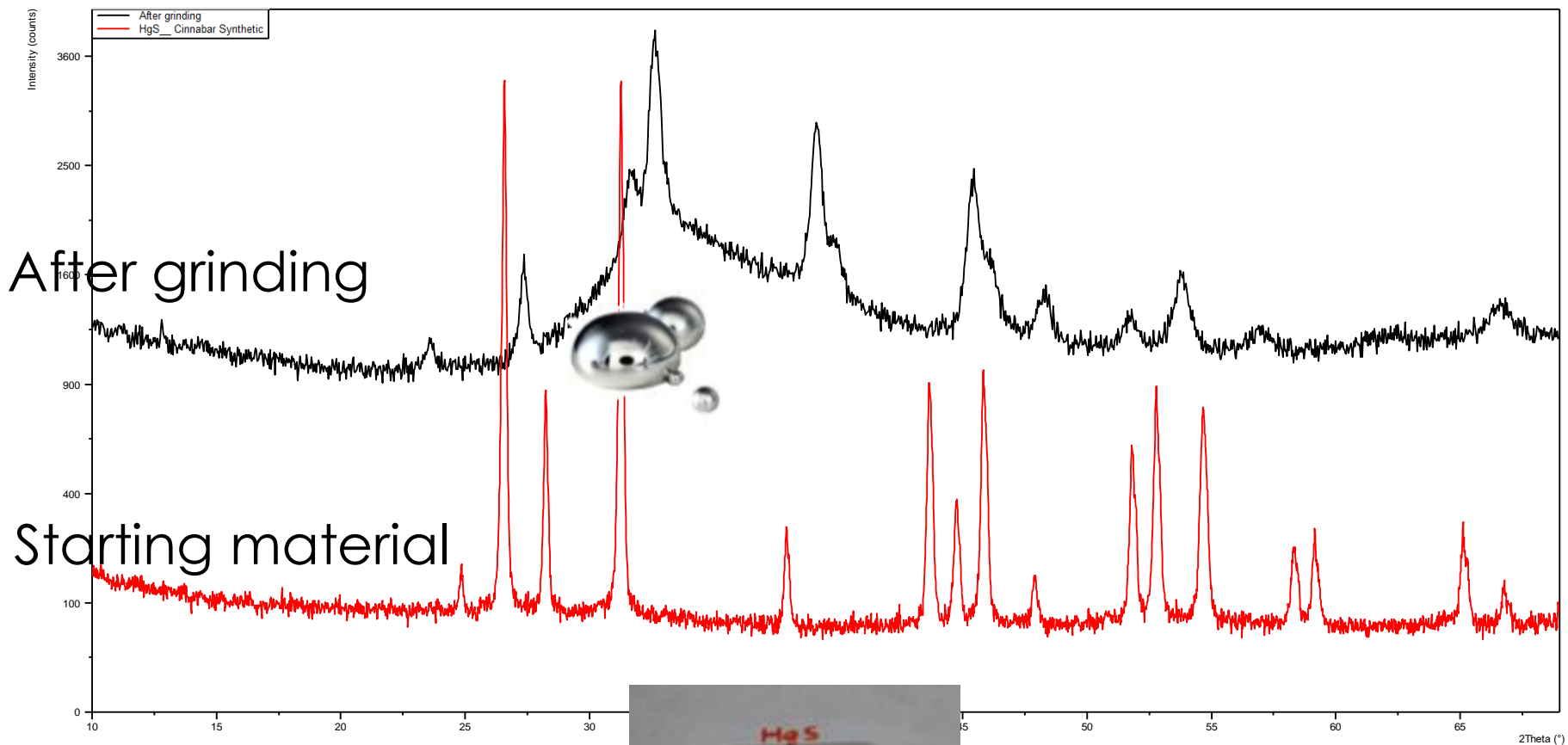


Replication: synthetic HgS ground with Copper powder in presence of vinegar

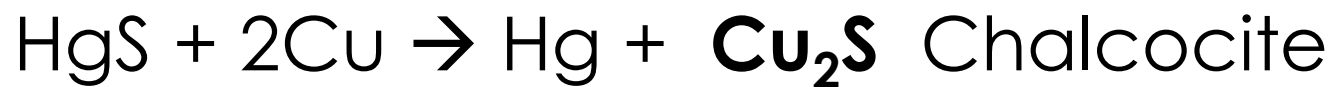
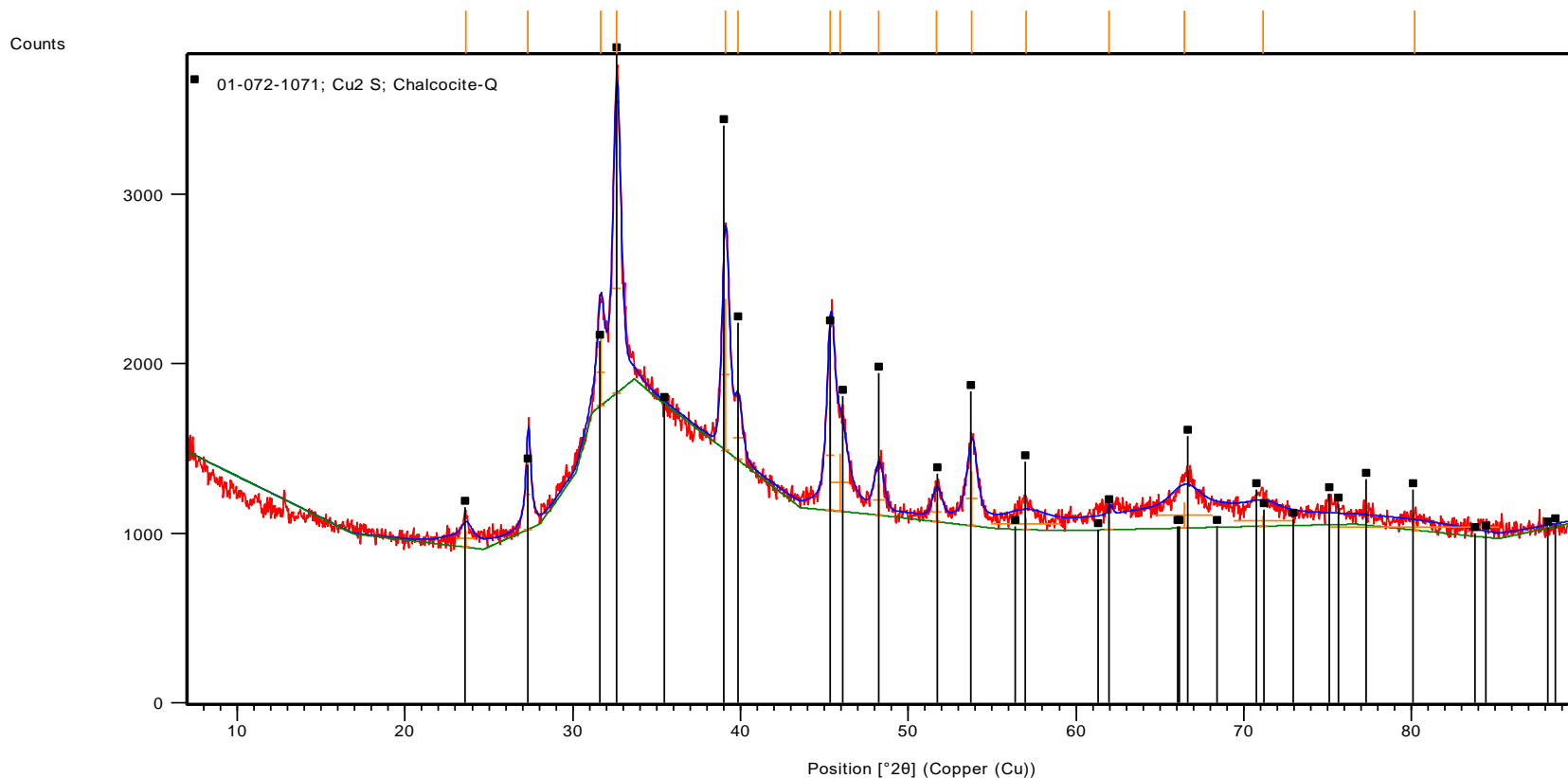


After 4 hours grinding

X-ray powder diffraction of Cinnabar before and after grinding



Characterization of the products



Are we the first one? First reproduction reported



K.C. Bailey (1932) partially replicated the reaction.

K. C. Bailey, *The Elder Pliny's Chapters on Chemical Subjects, Part II. Edited, with Translation and Notes* (London: Edward Arnold & Co., 1932), pp. 223.



What about the other researchers

Takacs' article identifies the product of the reaction with mercury and **generic copper sulphide**.

Baláž limited the identification of different possible sulfides to “**probably CuS**” (2013)

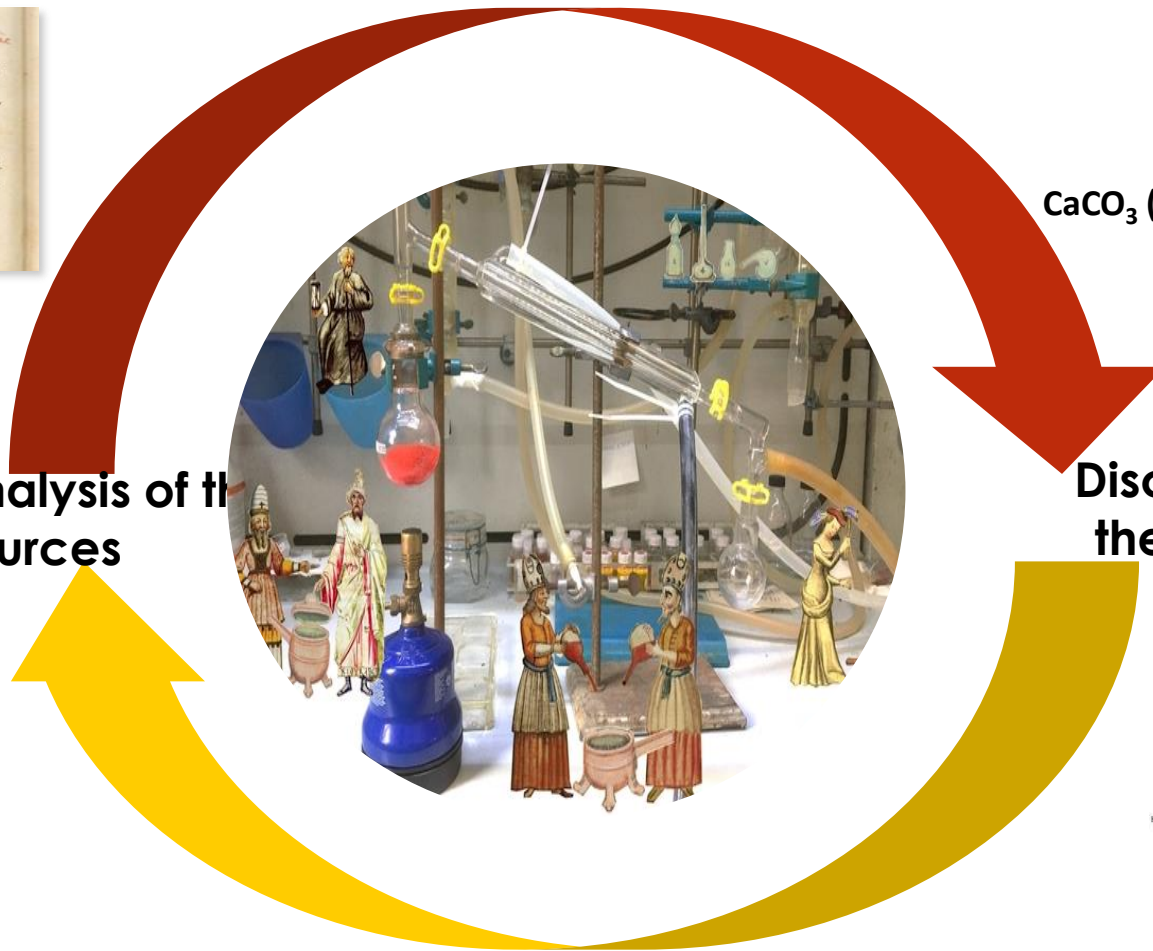
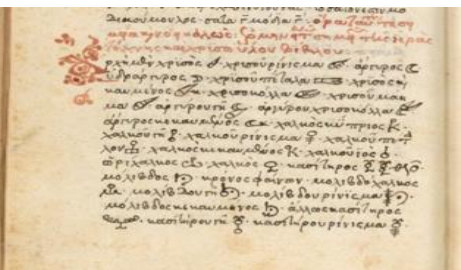
In recent papers (2019), the reaction was formalized as reaction
HgS + Cu → CuS + Hg

P. Baláž et al., Hallmarks of mechanochemistry: From nanoparticles to technology. *Chem. Soc. Rev.* **42**, 7571–7637 (2013).

D. Tan, F. García, Main group mechanochemistry: From curiosity to established protocols. *Chem. Soc. Rev.* **48**, 2274–2292 (2019).

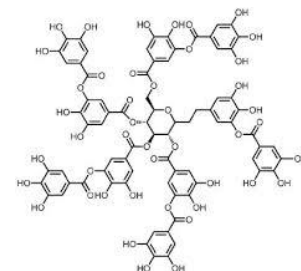


HERMENEUTICAL APPROACH



careful textual analysis of the ancient sources

Discussion with the chemists



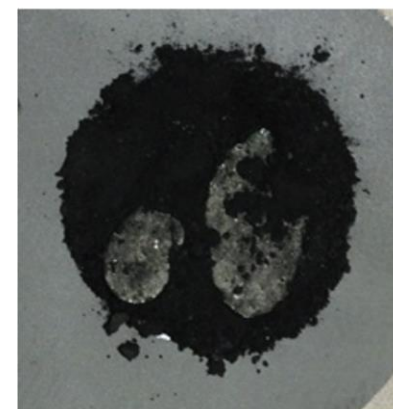
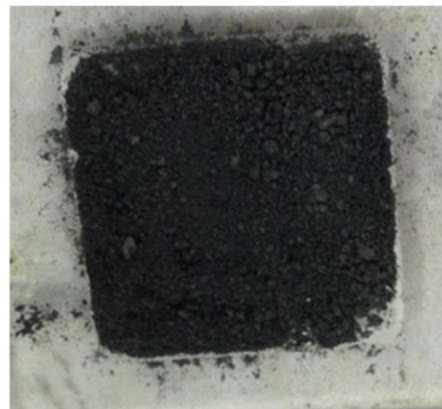
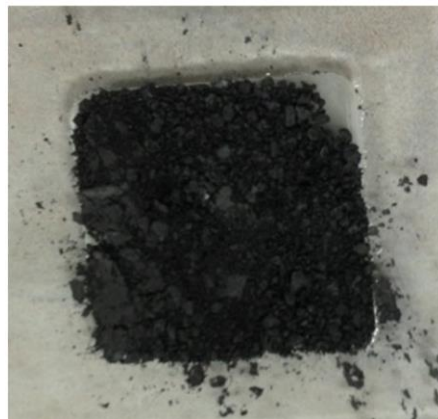
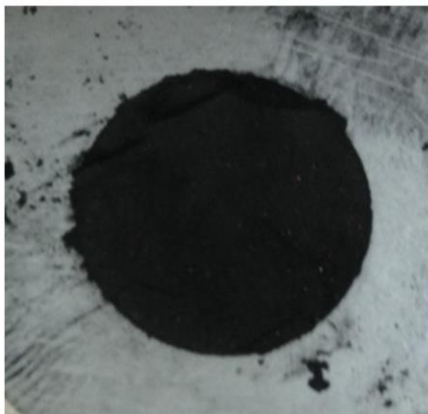
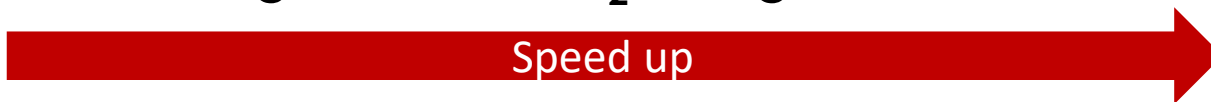
Replication in the lab



Role of liquid



Speed up



Neat
grinding



water



vinegar



acetic acid
glacial



Cold extraction

Zosimus of Panopolis (3rd-4th c. CE)

Chapters to Eusebeia
(CAAG ii 172,13-19)

Ε ΤΟΥ ΧΡΗΣΤΕΟΝ ⊗ ΑΝΤΙΛΟΓΟΣ ∴

"Penso che sia meglio macinare il cinabro [...]. Infatti, diverse sostanze producono (lett. 'fanno nascere') mercurio (lett. 'nuvola') quando vengono lavorate con acqua o aceto al sole. E questo lo sappiamo per esperienza. E tutti i libri e **Chymes** e **Maria** dicono: mortaio e pestello di **piombo**. Macinate il cinabro con l'aceto al sole finché non si forma il mercurio (lett. 'nuvola'). Lo stesso fanno con lo **stagno**".



Chymes

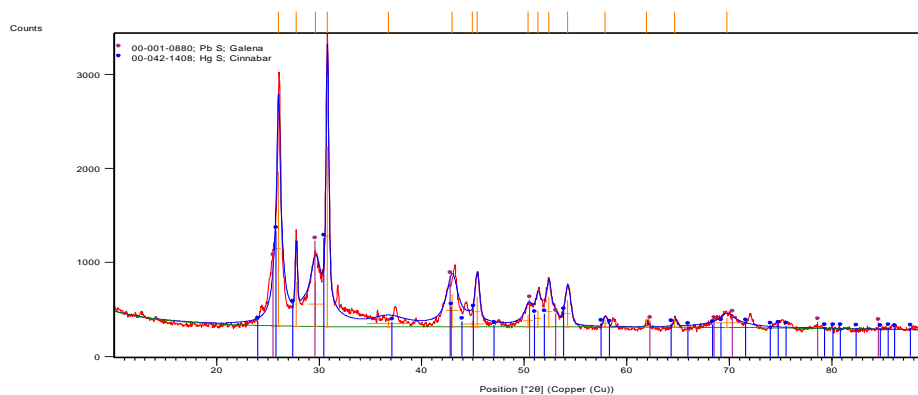
1st - 2nd c. CE



Maria the Jewess



Role of metals

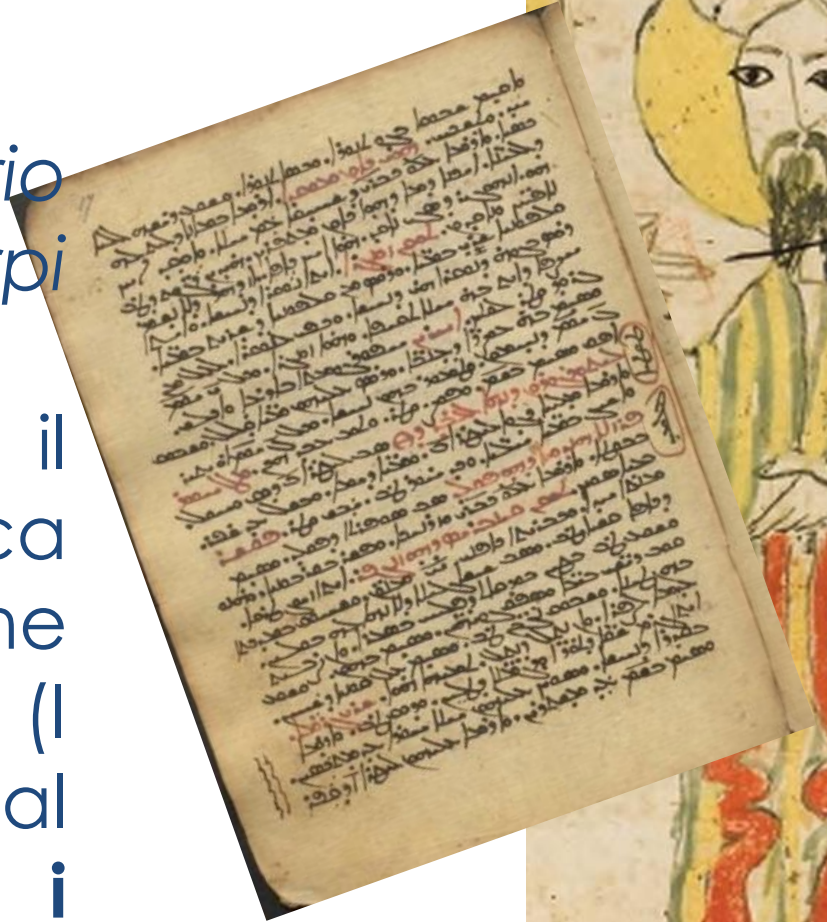


Syriac Translations of Zosimus' Books

Book 9: On Mercury

Sul fatto che il mercurio proviene da tutti i corpi metallici.

Poiché riteneva che il mercurio fosse l'unica (sostanza) che proviene da tutti i corpi, **Pebichius** (I sec. d.C.) si fermò al mercato e gridò: **tutti i corpi metallici sono mercurio.**



The metals known at that time

Gold

Silver

Tin

Copper

Lead

Iron

Mercury



The metals known at that time

Gold

Silver

Tin

Copper

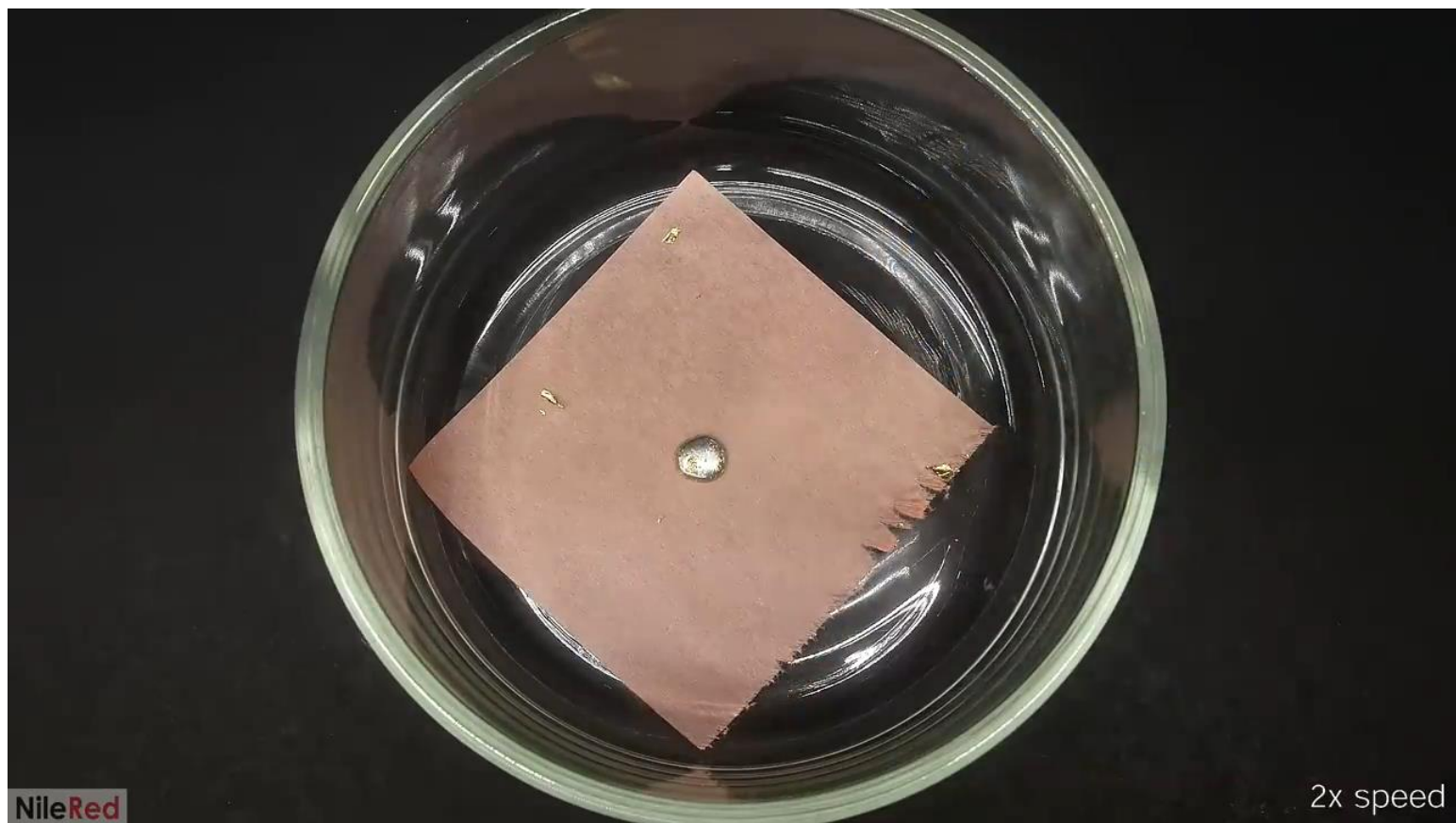
Lead

Mercury

Iron



Hg + Au \rightarrow the amalgam



by NileRed <https://www.youtube.com/watch?v=yAGYGGmUmUw>



The metals known at that time

Gold

Silver

Tin

Copper

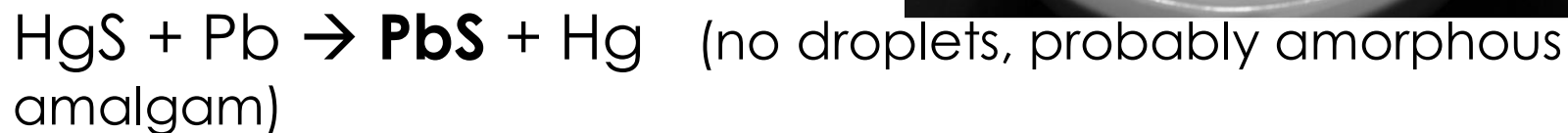
Lead

Mercury

Iron?



Role of metals



Syriac and arabic Translations of Alchemical Writings: Books by Zosimus

Book 9 (On Mercury)

Un'altra (ricetta). Prendete **polvere di rame** e macinate (cinabro) con acqua. Raccogliete a poco a poco con una spugna il mercurio (lett. nuvola) che galleggia sulla superficie, fino a quando tutto questo mercurio scompare e si secca. **Poi mettete (ciò che resta) in un recipiente senza coperchio; lo coprirete con un altro recipiente e metterete questo recipiente su un fuoco di segatura. Troverete il mercurio nel (recipiente) superiore.**

'Prendete foglie pure di **ferro** e usate un **mortaio**. Fate dei truccioli **come è spiegato sopra (nella sezione) sui (truccioli) di rame** o come è spiegato da Pebichius, e (il mercurio) viene prodotto".

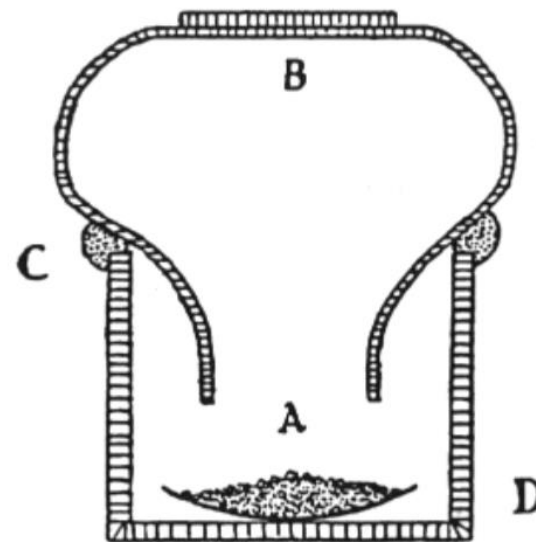


Dioscorides, *On Medical Substances* V 95

Si mette una conchiglia di **ferro** contenente il cinabro in un crogiolo di terracotta e lo si racchiude con un ambix (coperchio convesso) spalmato di argilla; poi si accende il fuoco sul crogiolo con carbone di legna. Si raccoglie il vapore depositato sull'ambix (coperchio), cioè il mercurio.



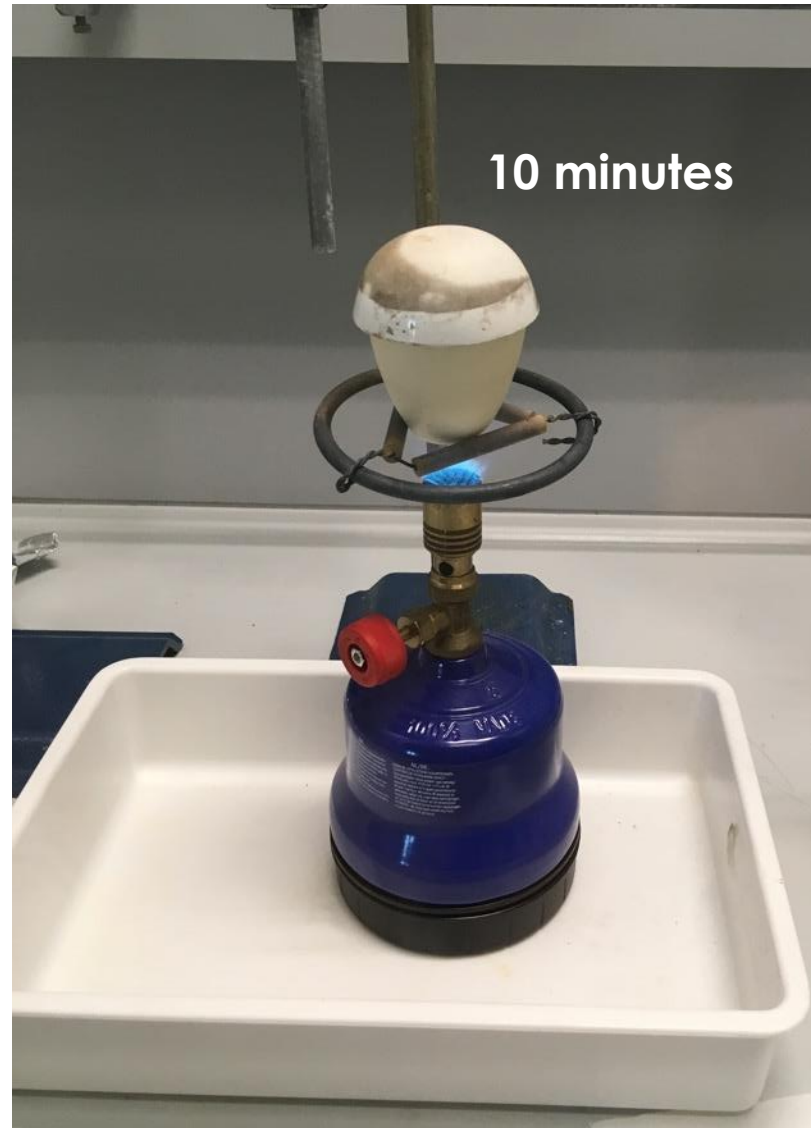
Pliny the Elder, *NH* xxxiii 123



Ricostruzione congetturale di F. S. Taylor dell'apparecchio per distillare il mercurio: A = κόγχος B = ἄμβιξ C = πηλός D = λοπάς



Heating cinnabar in the presence of iron (Pliny the Elder, Dioscorides , Christianus)



Heating cinnabar in the presence of iron (Pliny the Elder, Dioscorides , Christianus)

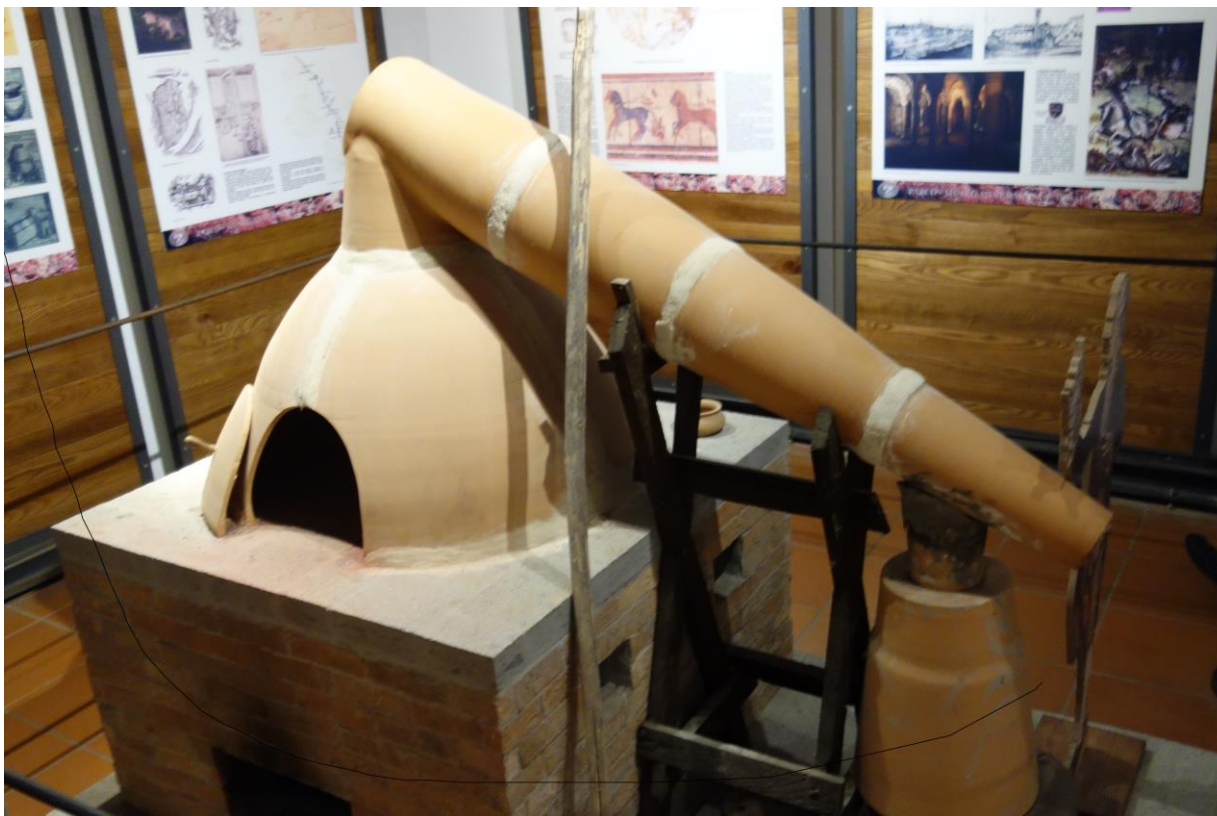


'They wipe off the vapour settled on the lid, that is quicksilver'.

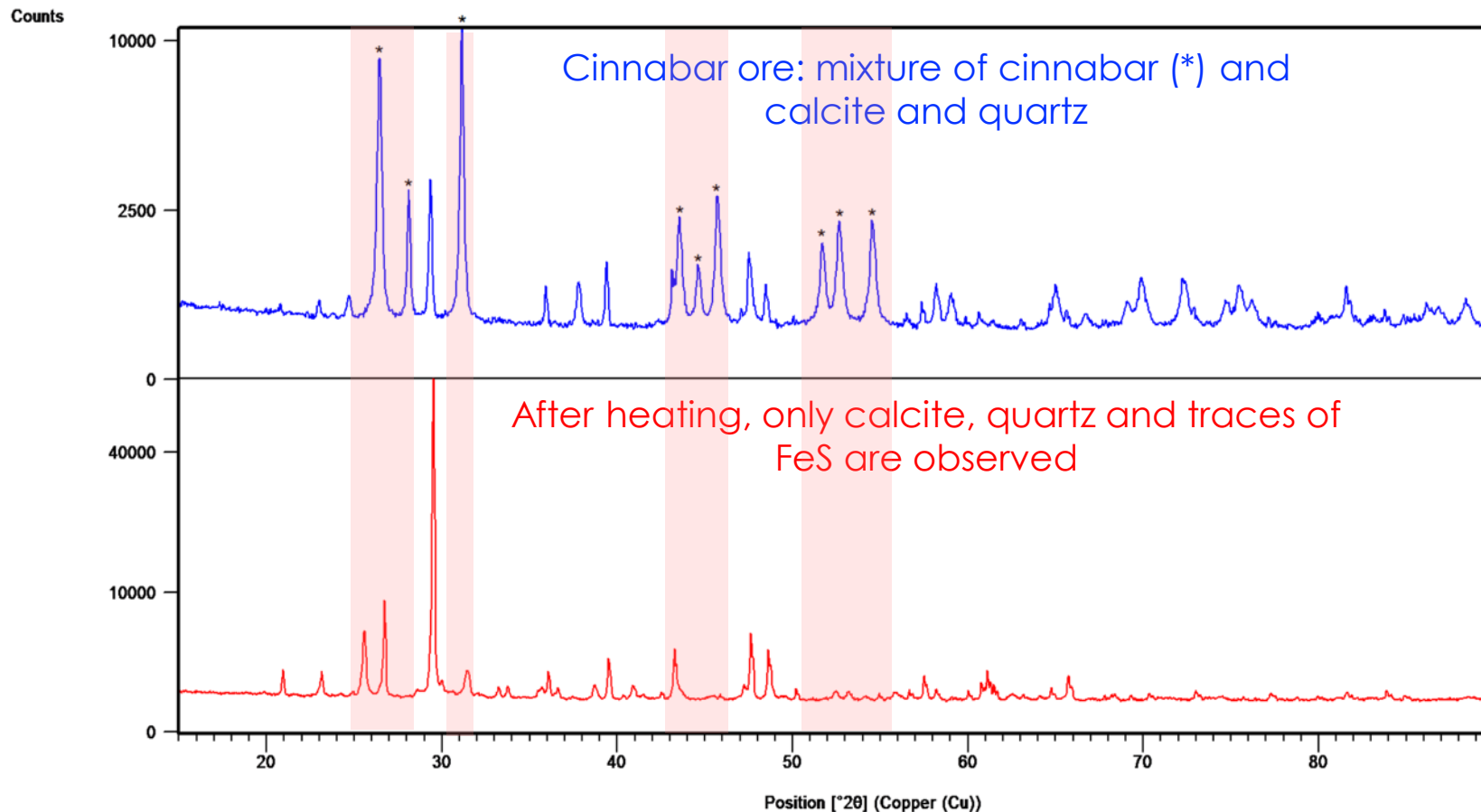


What happen inside the crucible?

Cinnabar roasting?



XRPD analysis of the residual powder



Gold

Silver

Tin

Copper

Lead

Mercury

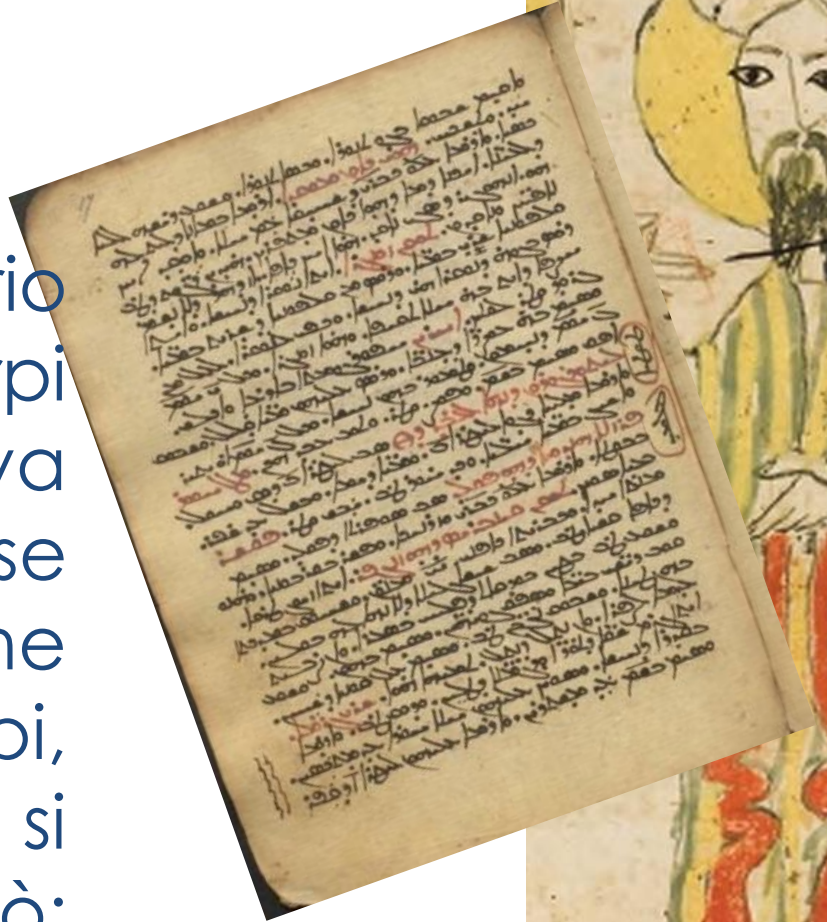
Iron



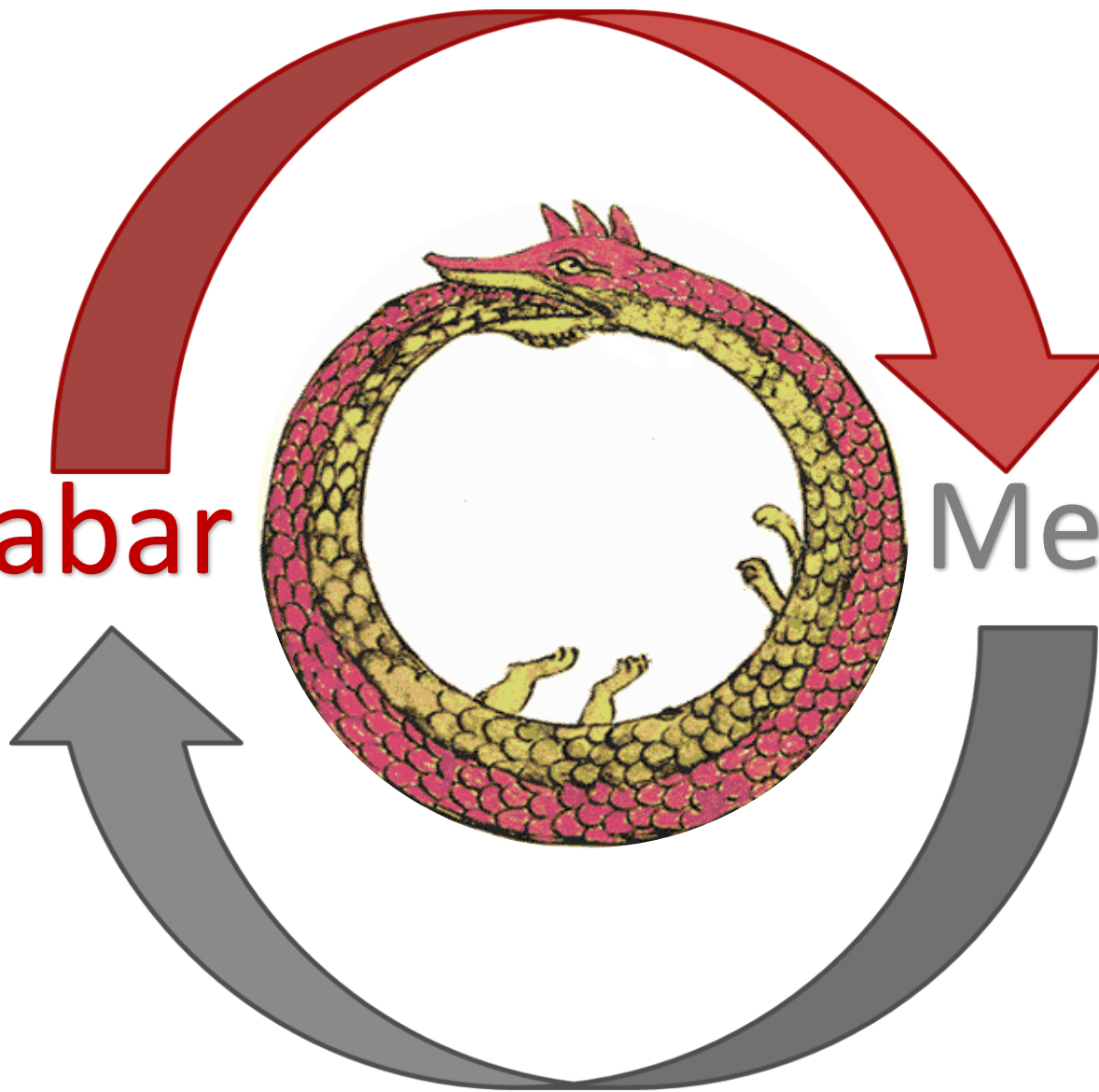
Syriac Translations of Zosimus' Books

Book 9: On Mercury

Sul fatto che il mercurio proviene da tutti i corpi metallici. Poiché riteneva che il mercurio fosse l'unica (sostanza) che proviene da tutti i corpi, **Pebichius** (I sec. d.C.) si fermò al mercato e gridò: **tutti i corpi metallici sono mercurio.**



Cinnabar



Mercury



Synthesis of cinnabar

Ricetta anonima bizantina, pubblicata da Robert Halleux, *Traités des arts et métiers*, Paris 2021, p. 118.

Sulla fabbricazione del cinabro.

Bisogna mettere in un mortaio un'oncia di **zolfo** non trattato al fuoco e due once di **mercurio**; **dopo averli triturati entrambi nel mortaio** per un giorno, gettali in una ampolla di vetro e chiudine la bocca con un miscuglio di fango e carbone spesso tre dita; **ponila su un forno a tiraggio automatico per 6 o 9 ore**. Dopo averlo trattato in questo modo, troverai una massa color ferro; triturala varie volte al sole con acqua; infatti, tanto più la triturerai, quanto più diventerà gialla. **Infatti, lo zolfo non trattato al fuoco rende le sostanze volatili fisse (let. 'che non fuggono')**. .



Synthesis of cinnabar

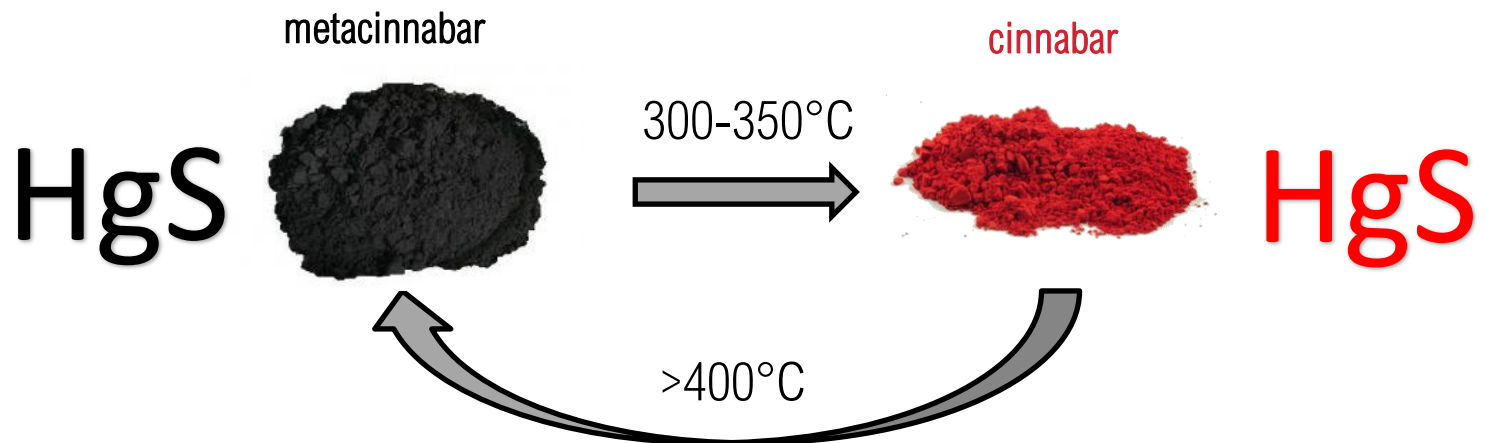


Synthesis of cinnabar

Grinding sulfur and mercury



Metacinnabar



Synthesis of cinnabar

Grinding sulfur and mercury



Metacinnabar

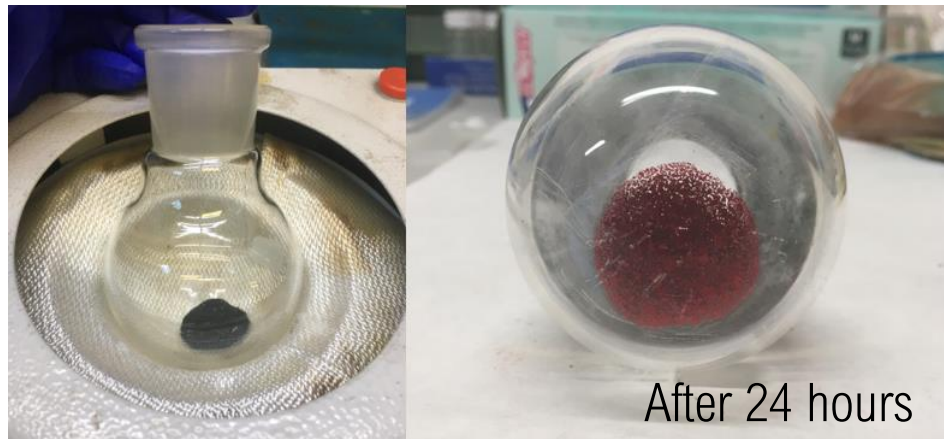


Metacinnabar

heating at
300-350 °C



Cinnabar



After 24 hours



Synthesis of cinnabar

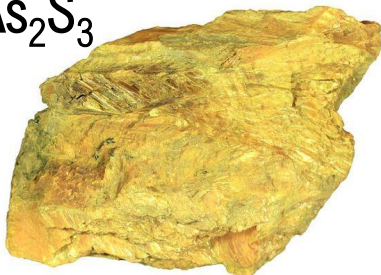
Pseudo-Democrito, Sulla fabbricazione dell'oro, § 2, edito da M. Martelli, The Four Books of Pseudo-Democritus, Leeds 2013, p. 86.

Preso del mercurio, **rendilo solido** (let. 'fissalo, congelalo') con il corpo della **3agnēsia**, o con il corpo della **stibnite** d'Italia, o con lo **zolfo** non trattato al fuoco, o con la spuma d'argento, o con la calce arrostita, o con l'allume di Melo, o con l'**orpimento**, o come tu vuoi.

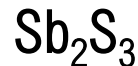
Zosimo di Panopoli, Libro sul mercurio nella versione siriana, Cambridge University Library, MS Mm. 6.29, fol. 57r20–57v3 (testo inedito)

Il mercurio che abbiamo trovato è solidificato dall'**orpimento**, il **realgar**, la biacca, la **3agnēsia** o la **stibinite** d'Italia. Infatti, (il mercurio) è solidificato dalle sostanze in cui il filosofo (i.e. Pseudo-Democrito) dice che è contenuto.

Orpiment



Stibnite



Realgar



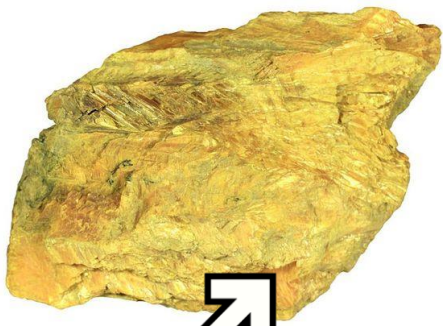
Synthesis of cinnabar

Testo arabo *Tomo delle immagini*, libro 2, attribuito a Zosimo di Panopoli, İstanbul Arkeoloji Müzeleri Kütüphanesi (Biblioteca del Museo archeologico di İstanbul), MS 1574, fol. 50r15–50v1 (testo inedito)

Ha parlato il saggio: “se tu metti il **mercurio** tratto dal cinabro **con lui** (i.e. con ‘il **maschio**), un grande segreto gli appartiene”?

Lei rispose: Quale segreto?

Egli disse: **prendi i due (i.e. il mercurio e ‘il maschio’) e mischiali**. Dopo averli mischiati fino a che **solidificano**, troverai che il mercurio diventa solido e ‘il maschio’ si trasforma nelle ceneri nascoste nel mercurio.



Con il termine ‘maschio’ si indicava in genere l’orpimento, termine maschile in greco (il suo stesso nome in greco, *arsenikòn*, significa ‘uomo’).

Il termine ‘mercurio’, invece, è femminile in greco.



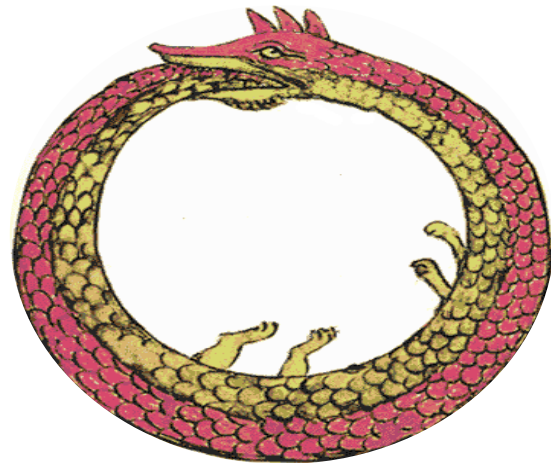
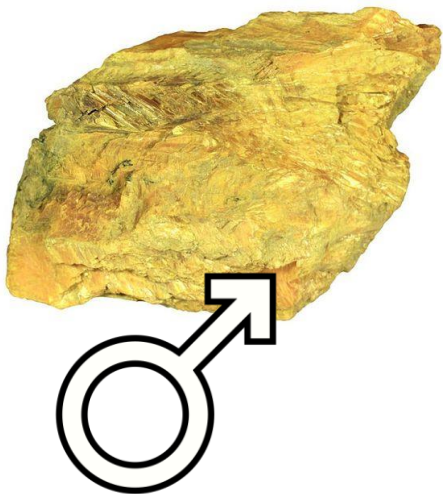
Synthesis of cinnabar

Testo arabo *Tomo delle immagini*, libro 2, attribuito a Zosimo di Panopoli, İstanbul Arkeoloji Müzeleri Kütüphanesi (Biblioteca del Museo archeologico di İstanbul), MS 1574, fol. 50r15–50v1 (testo inedito)

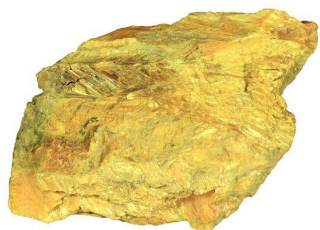
Ha parlato il saggio: “se tu metti il **mercurio tratto dal cinabro** con lui (i.e. con ‘il maschio), un grande segreto gli appartiene”?

Lei rispose: Quale segreto?

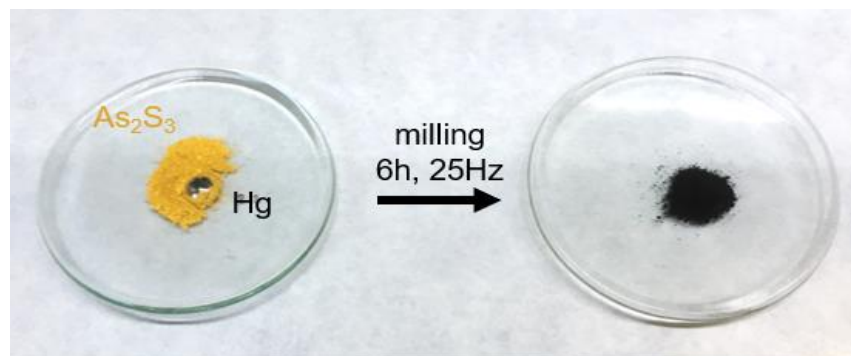
Egli disse: prendi i due (i.e. il mercurio e ‘il maschio’) e mischiali. Dopo averli mischiati fino a che solidificano, troverai che il mercurio diventa solido e ‘il maschio’ si trasforma nelle **ceneri nascoste nel mercurio**.



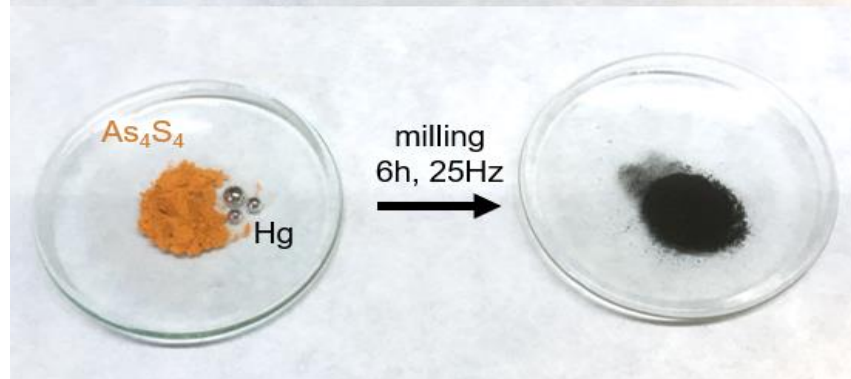
First step: grinding mercury with the mineral



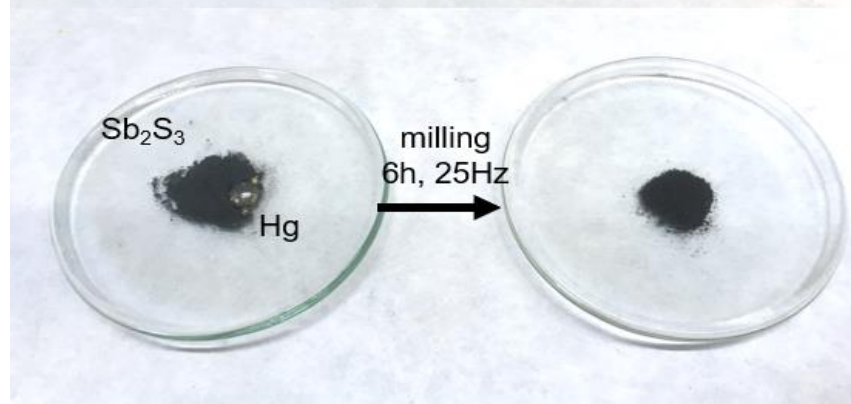
Orpiment
 As_2S_3



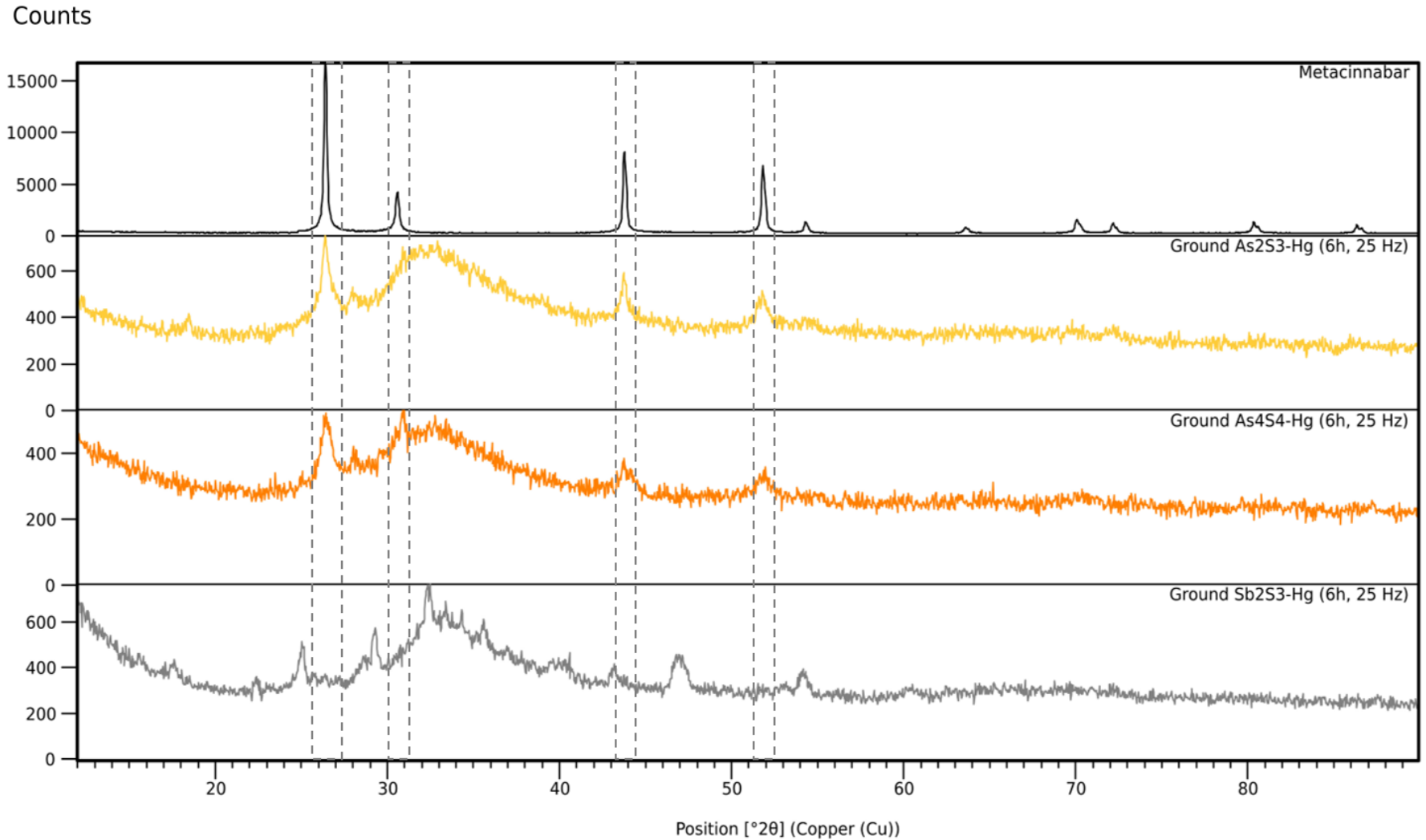
Realgar
 As_4S_4



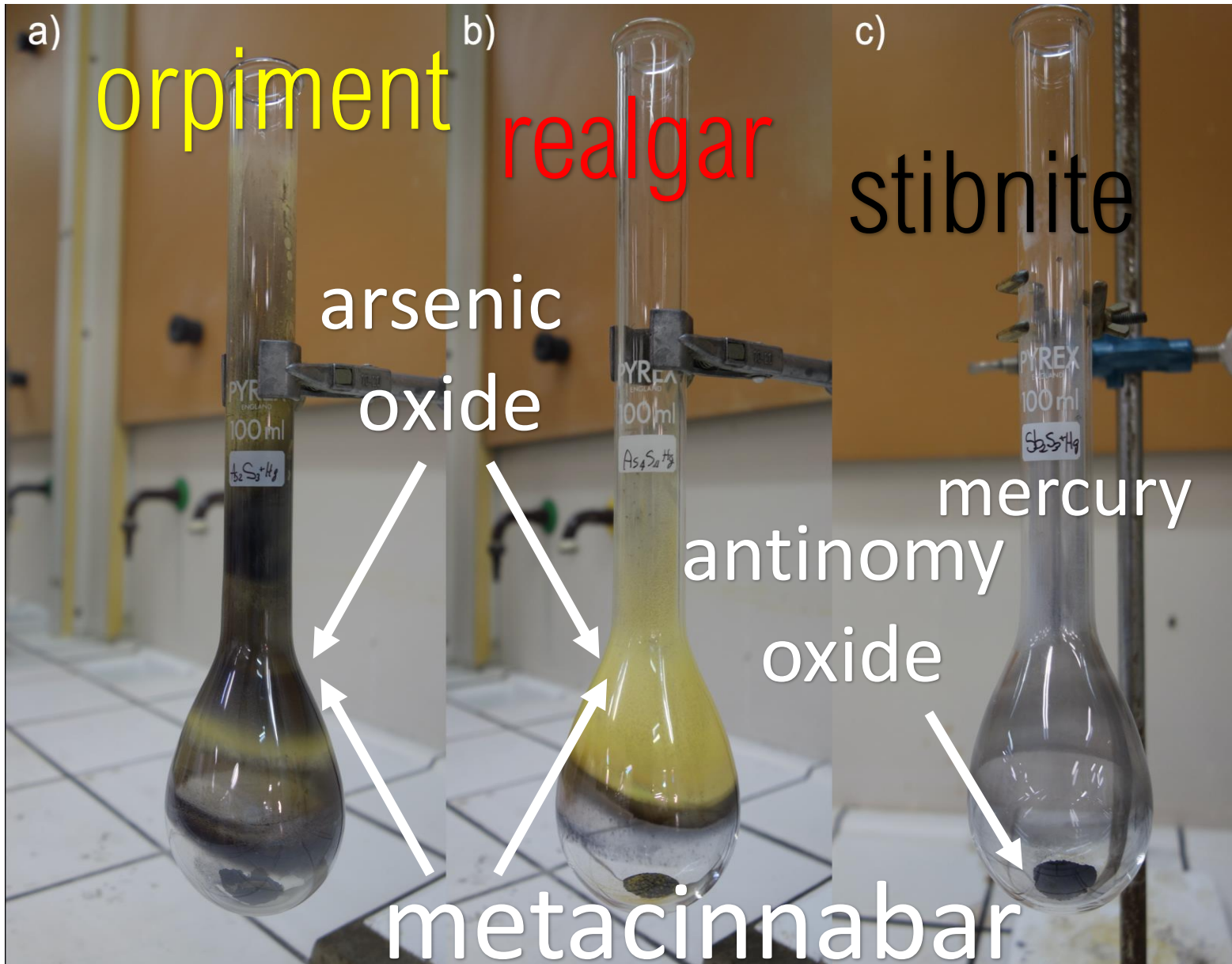
Stibnite
 Sb_2S_3



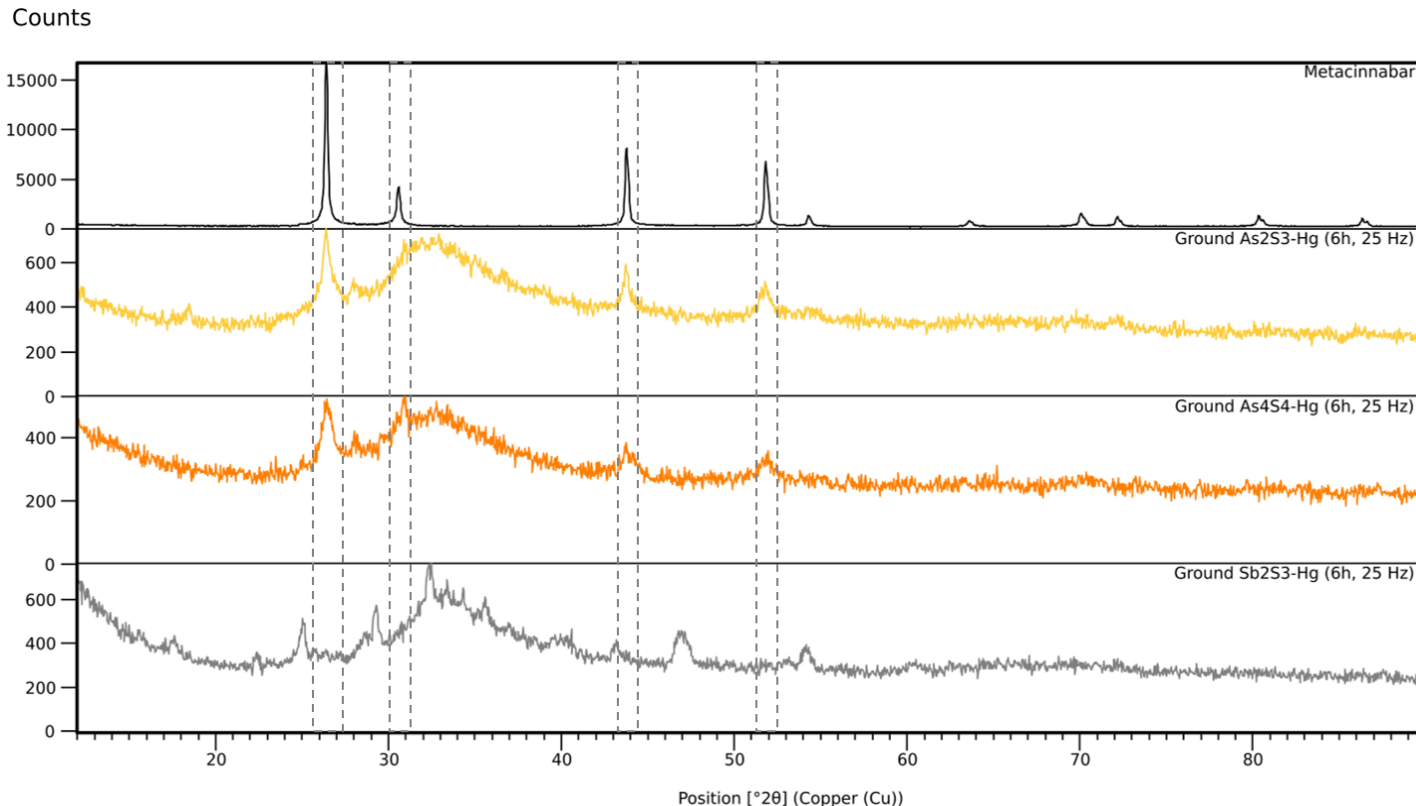
First step: grinding mercury with the mineral



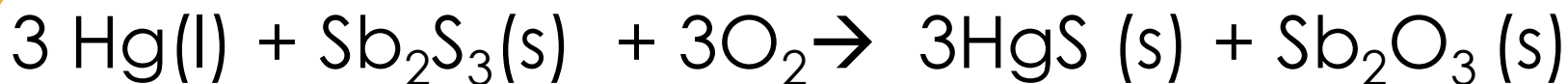
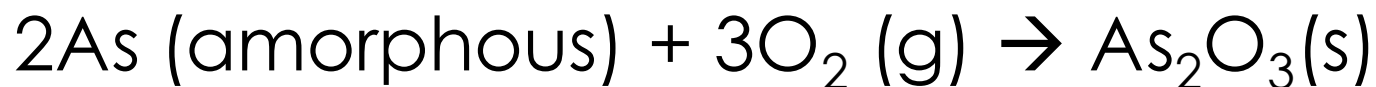
Second step: heating powder at 300°C



What is the reaction?



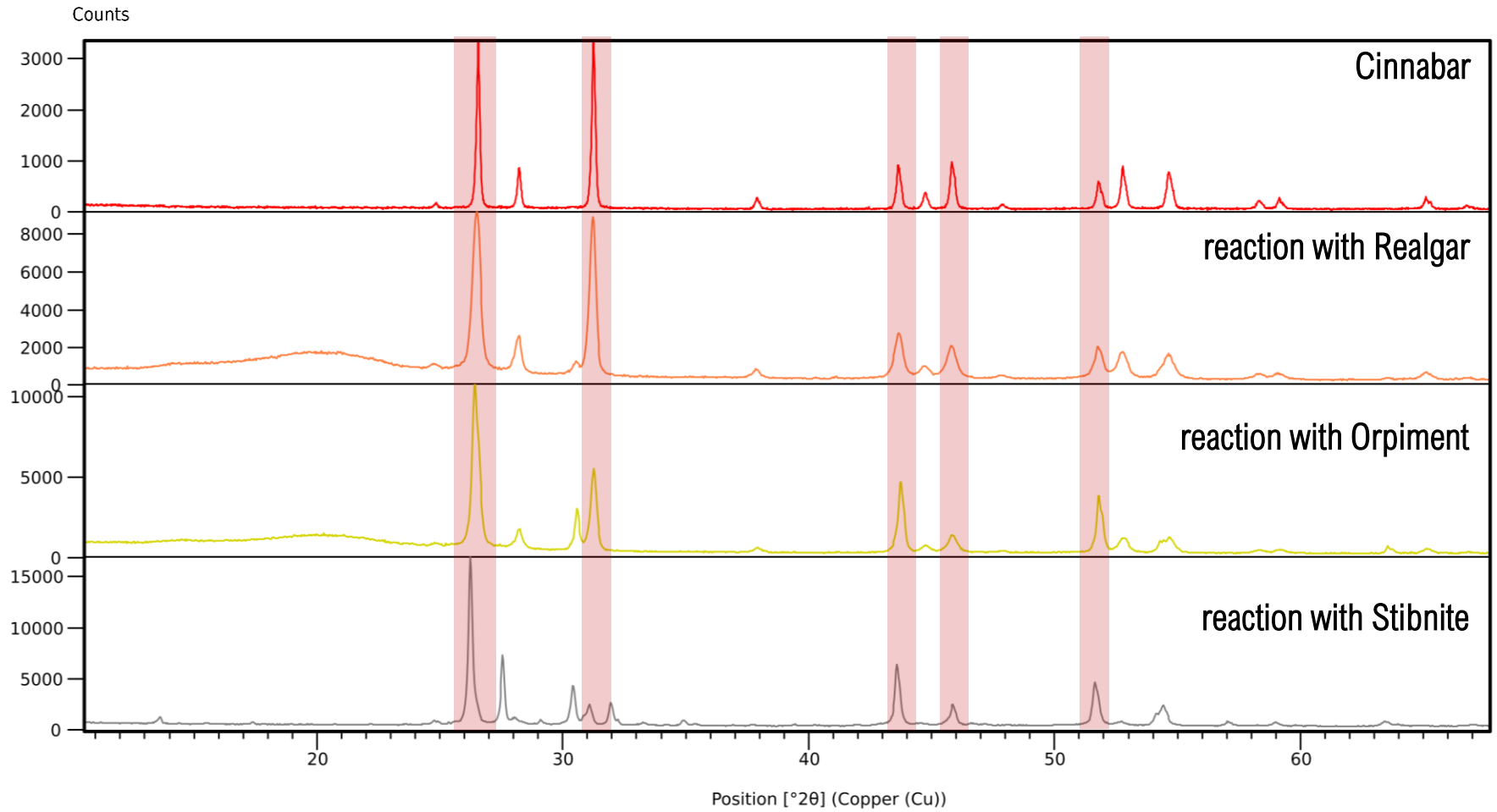
What is the reaction?



The heating source



Second step: heating powder at 550-600°C



Is grinding necessary?

Ricetta anonima bizantina, pubblicata da Andrée Colinet, Recettes alchimiques (Par. Gr. 2419; Holkamicus 109) Cosmas le Hiéromoine, Chrysopée, Paris 2010, pp. lxxxviii-lxxxix.

Preparazione del cinabro.

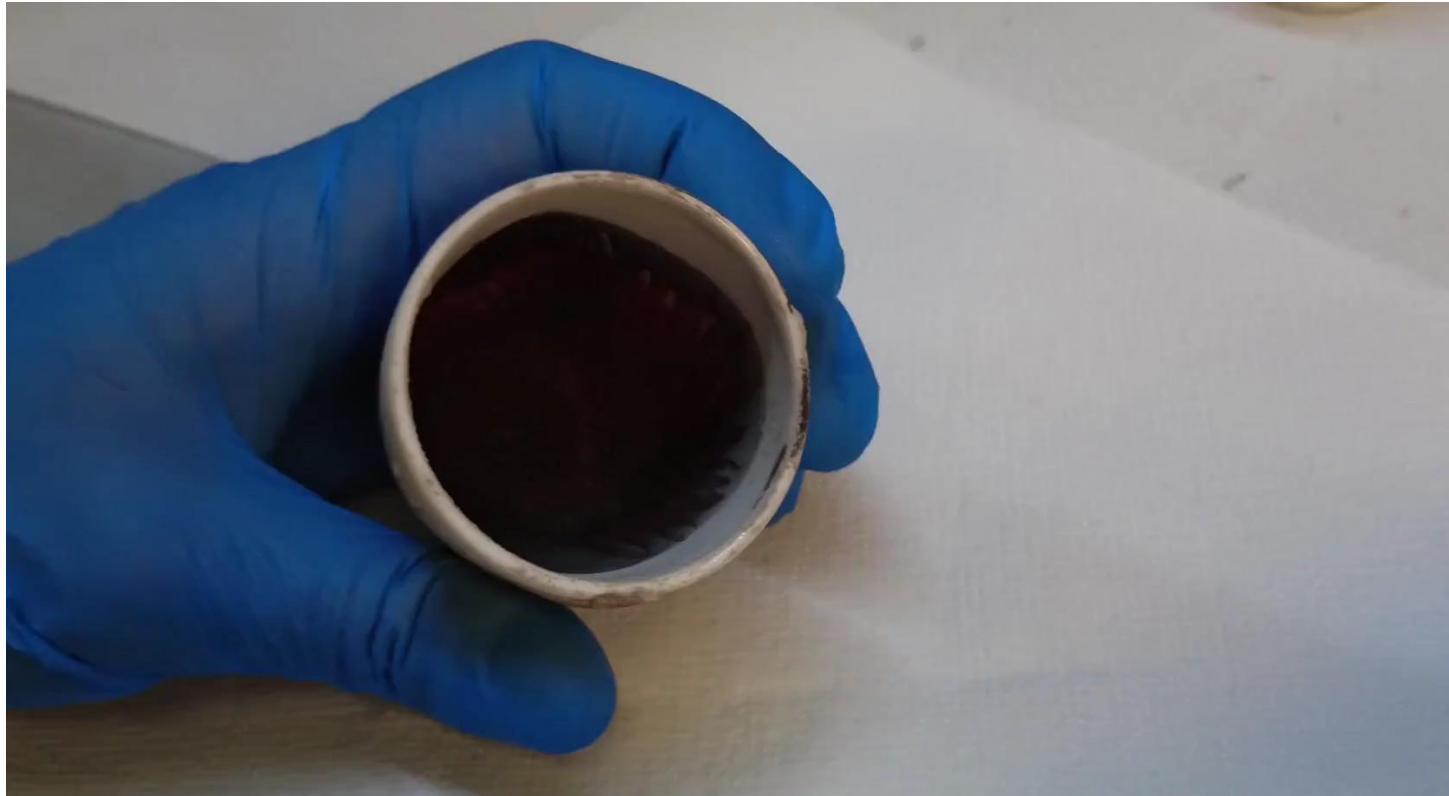
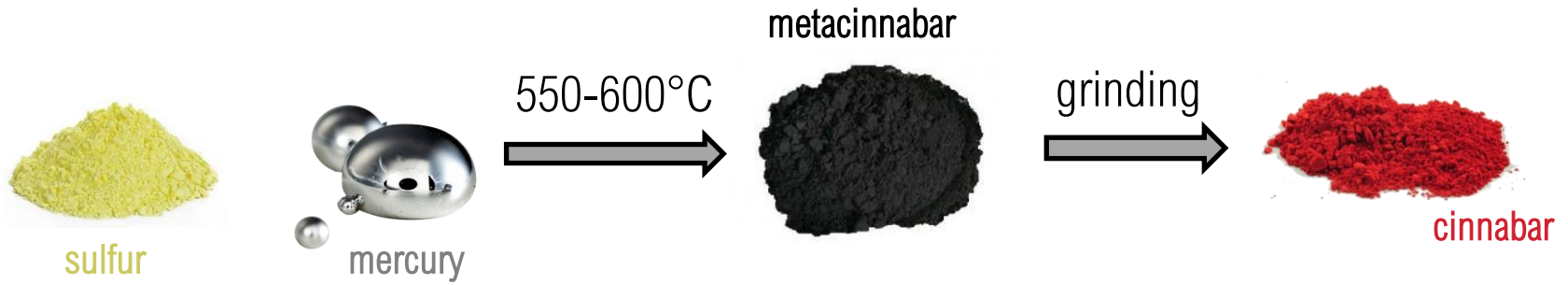
Prendi **due parti di mercurio**, <una parte> di **zolfo vivo** che è stato triturato, una parte di urina pura.

Prendi una ampolla pulita e resistente, capace di sopportare **un fuoco senza fumo**, e mettilci il preparato.

Non riempire l'ampolla, ma lascia che resti vuota per due o tre dita. **Mischia tutti gli ingredienti insieme e allestisci un forno simile a quello dei vetrai.** L'ampolla deve essere larga. Lascia lo spazio (nel forno) per introdurre l'ampolla, dividi le canne, quindi accendi il forno. Lascia una piccola finestra dove la fiamma possa entrare uscire tutta intorno. Questo è il segno che il preparato è cotto: **osservando la parte vuota dell'ampolla, se si vede salire un fumo che ha l'aspetto della porpora e il colore del cinabro, è fatta.** Non lasciate scaldare il vetro ulteriormente; se infatti, a preparazione completata, si continua a scaldare troppo, il vetro si rompe.



Is grinding necessary?



Cuocere e macinare

Il libro arabo *Le chiavi dell'opera*, attribuito a Zosimo di Panopoli, libro: 2, fol. 51a:

علمتك ان احكام العمل كله الطبخ والسحق. فان اردت الحق فاعلم ان الزئبق هو الذي يقرب
الطبائع فيه تحجز وبه.



Ti ho insegnato che ciò che rende ogni opera perfetta è il **cuocere** e il **macinare**. Se tu cerchi la verità, sappi che il mercurio è ciò che trasforma le nature che sono fissate in esso e tramite esso.



Hermeneutical approach

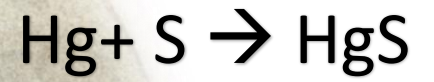
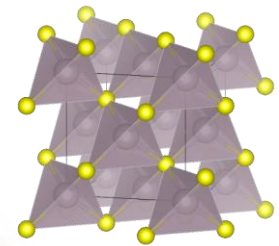
**Careful textual
analysis of the
ancient sources**



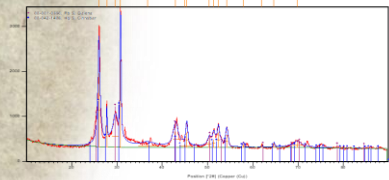
**Discussion
with the
chemists**

Replication in the lab





ΘΟΣ



ΑΛΗ
 ΔΟΛΟΥΤΑΙ ΧΡΥΣΟΣ ΕΙΣ ΑΥΞΗΘΙΝ ΜΙΟΥΒΗ ΚΑΙ ΤΗΙ ΟΝΟΤΗ
 ΤΟΣΤΑΙΟΣ ΠΡΩΤΟΣ ΕΥΡΑΜΕΝΟΣ ΕΙΣ ΤΗΝ ΚΑΜΙΝΟΝ
 ΚΑΙ ΑΥΤΟ ΓΕΓΗΜΕΝΟ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΥΝΗΝ ΤΑΡΩ Ε
 ΕΓΓΕΥΡΑΝΤΕ ΤΙΝΕ ΚΑΤΟΥ ΠΡΟΣΛΟΤΗΝ ΟΥΔΕ ΜΑΤΙΑ ΔΟΥΤΑΙ



Some bibliography

Exploring the Ancient Chemistry of Mercury.

Marchini, M.; Gandolfi, M.; Maini, L.; Raggetti, L.; Martelli, M. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **2022**, *119* (24). <https://doi.org/10.1073/pnas.2123171119>.



“What makes every work perfect is cooking and grinding”: the ancient roots of mechanochemistry

M. Marchini, G. Montanari, L. Casali, M. Martelli, L. Raggetti, M. Baláž, P. Baláž, L. Maini
RSC Mechanochem., 2024, Advance Article

<https://doi.org/10.1039/D3MR00035D>

