



Ηχοχημεία - Ηχοηλεκτροχημεία

Επίκουρος Καθ. Χρήστος Αργυρούσης
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Εργαστήριο Τεχνολογίας Ανόργανων Υλικών (LIMT) (Δ.408-Δ.409)

Περιεχόμενα

- Αρχές της ηχοχημείας
- Εφαρμογές υπερήχων
 - Ηχοχημεία
 - Ηχοηλεκτροχημεία
- Αρχές του EQCM (**E**lectrochemical **Q**uartz **C**rystal **M**icrobalance)

Ηχοχημεία - Sonochemistry

Η Χημεία ορίζεται ως η διάδραση ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΛΗΣ

Ορίζεται σαν **Ηχοχημεία = Υπέρηχοι + Χημεία**

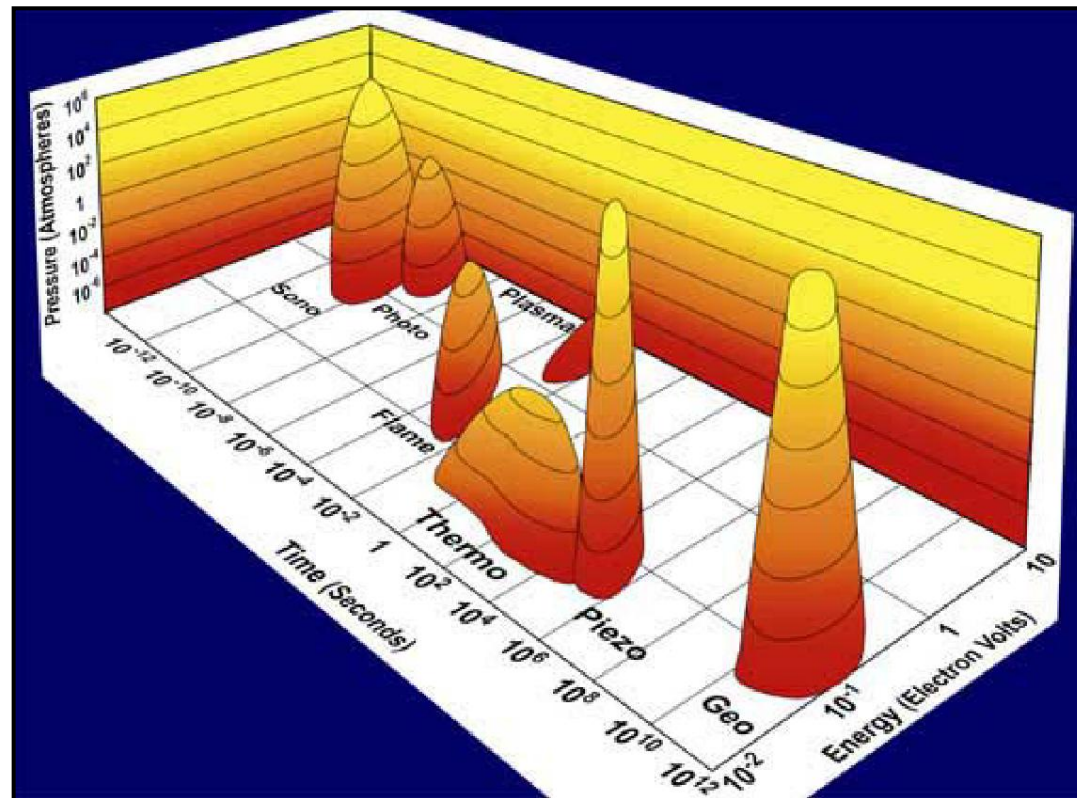
Μικροί χρόνοι

Σε συνδυασμό με

Υψηλές Ενέργειες

και

Υψηλές πιέσεις



Ηχοχημεία - Sonochemistry

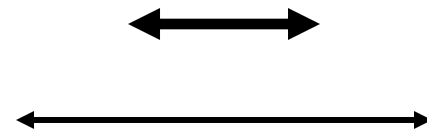
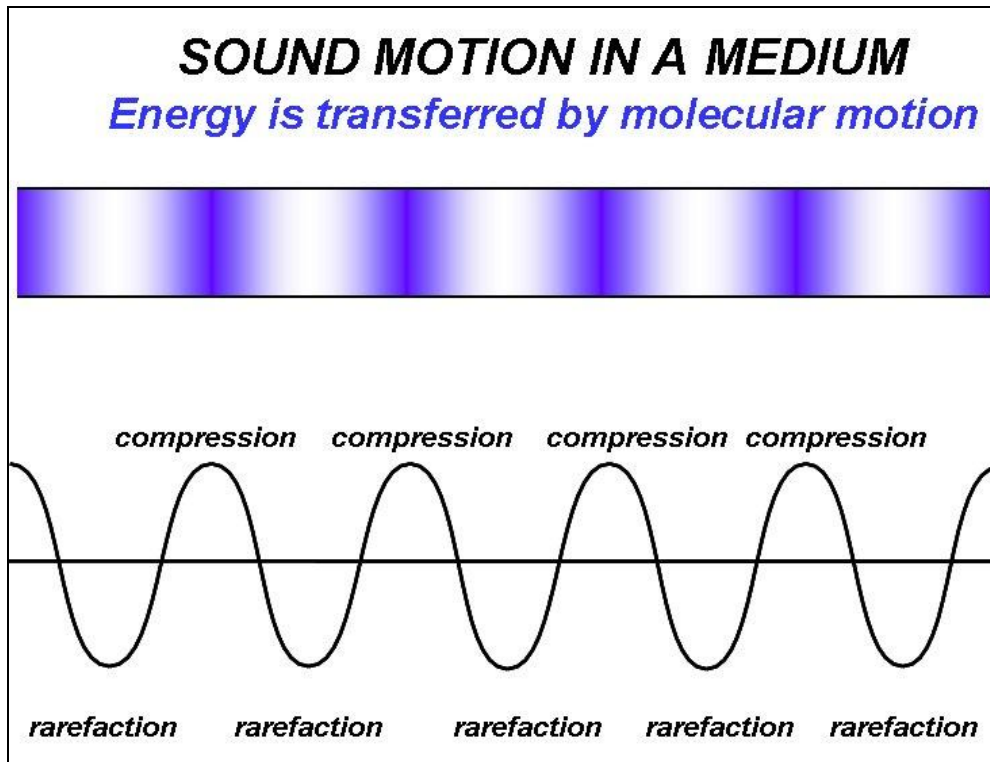
Η ΠΡΩΤΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΠΗΛΛΙΩΣΗΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΤΗΚΕ ΤΟ 1895. ΟΙ ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΑΝ ΟΤΙ Η ΠΡΟΠΕΛΛΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΤΟΥΣ ΕΙΧΕ ΣΧΗΜΑΤΙΣΕΙ ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΕΙΧΕ ΔΙΑΒΡΩΘΕΙ ΑΠΟ ΤΟ ΣΤΡΟΒΙΛΙΣΜΟ ΤΗΣ



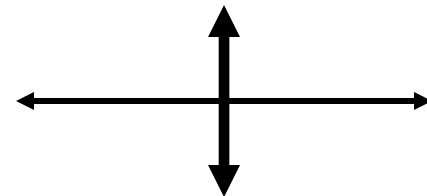
Thornycroft, J.I.; Barnaby, S.W. *Min. Proc. Inst. Chem. Eng.* **1895**, 122, 51-69.

ΗΧΟΣ - Sound

- Ο ήχος διαδίδεται ως κύματα σε ένα μέσο ως μεταβολή πίεσης προκαλώντας μικρές περιοχές συμπίεσης (compression) και αραιώσης (rarefaction)



• Στα υγρά και στα αέρια
συγκεκριμένες κινήσεις στην
κατεύθυνση του κύματος
προκαλώντας διαμήκη κύματα



• Στα στερεά εγκάρσια κύματα κάθετα
στο κύμα

Ακουστική Σπηλαίωση - Acoustic cavitation

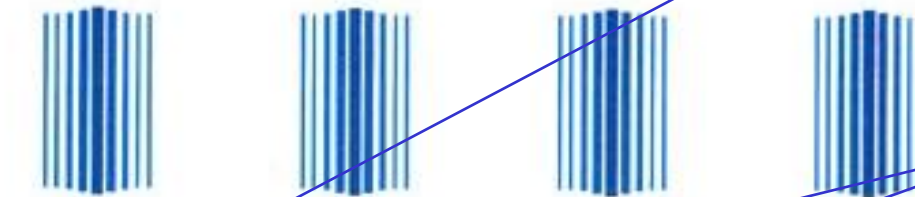
Φυσικά φαινόμενα είναι υπεύθυνα για τα χημικά αποτελέσματα που προκαλούνται από υπερήχους

Σε 3 στάδια :

ΗΧΟΣ
ΠΙΕΣΗ

ΣΥΜΠΙΕΣΗ
ΚΥΜΑΤΑ

ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ
ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ
ΦΥΣΑΛΛΙΔΑΣ



ΧΡΟΝΟΣ

δημιουργία
φυσαλίδας κατά τον
κύκλο της αραίωσης
ενός κύματος

Κατάρρευση φυσαλίδας -
Ανάπτυξη φυσαλίδας -
ενεργεί ως "hotspot"

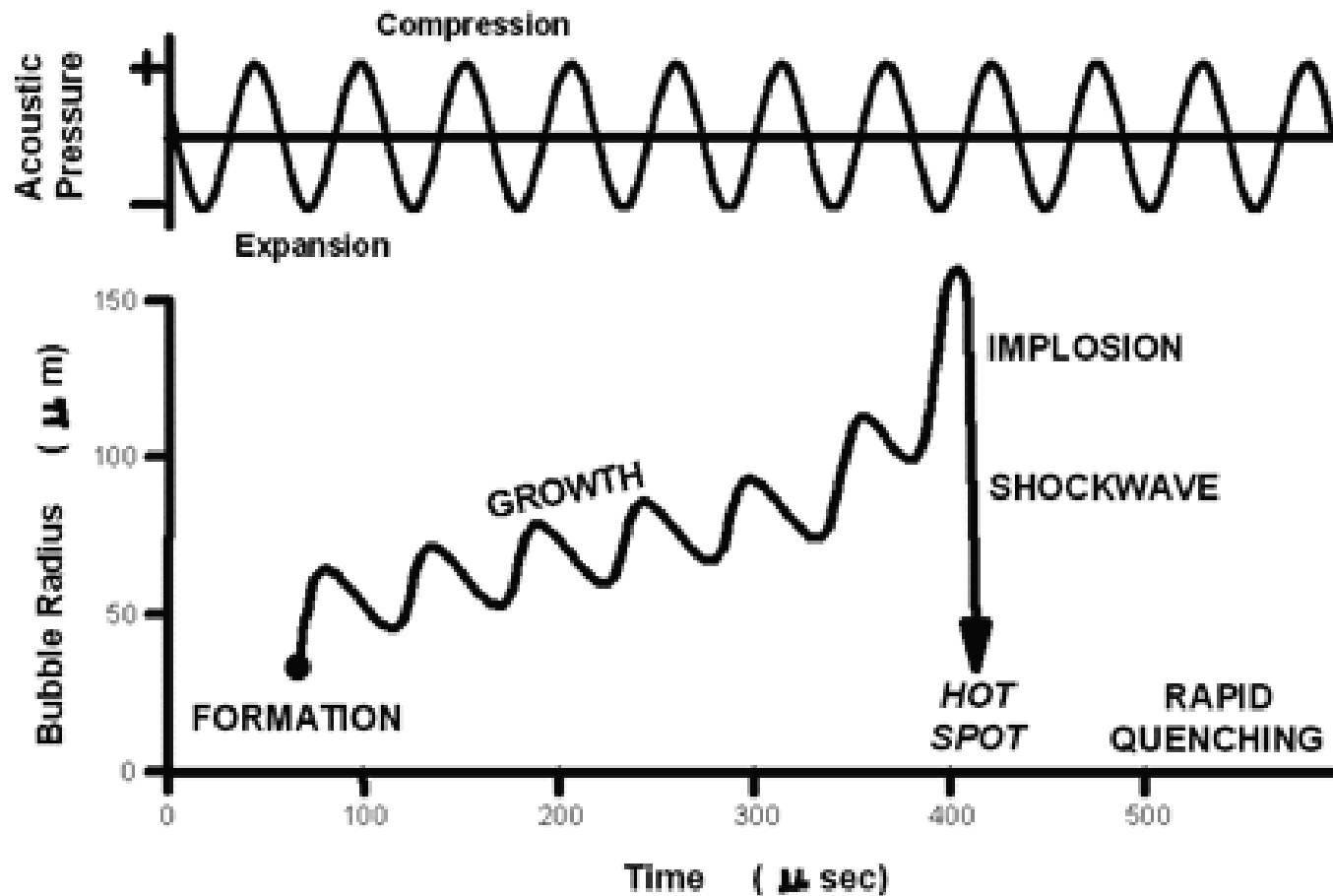
$T \sim 5000^\circ\text{C}$
- περίοδος κύκλων

μέχρι να αποκτήσει
 $p \sim 2000\text{atm}$

την κρίσιμη ακτίνα
κύκλος ζωής $< \mu\text{s}$

Ρυθμός ψύξης,
θέρμανσης $> 10^9\text{ }^\circ\text{C/s}$

Ακουστική Σπηλαίωση - Acoustic cavitation

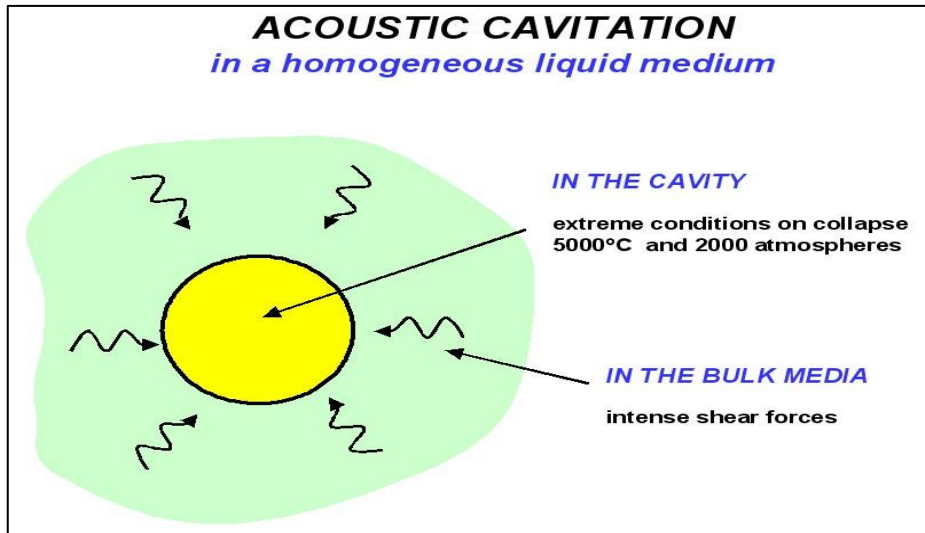


Ακουστική Σπηλαίωση - Acoustic cavitation

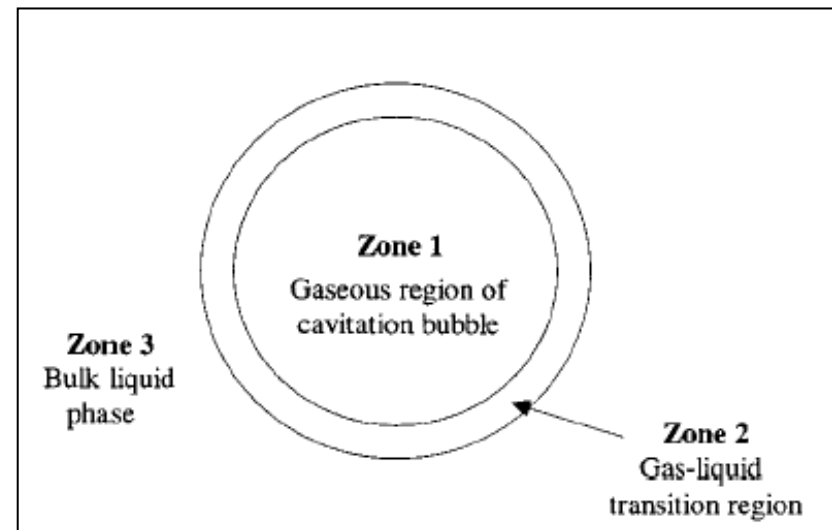
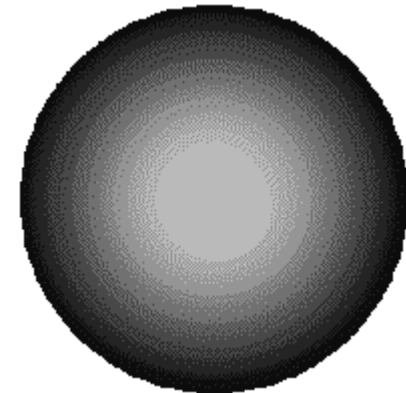
Η φύση της Ακουστικής Σπηλαίωσης εξαρτάται από το μέσο στο οποίο η αντίδραση συμβαίνει

- Ομογενείς αντιδράσεις στην υγρή φάση
- Τον υγρό διαλύτη κοντά στην διεπιφάνεια
- Αν το ρευστό περιέχει αιωρούμενα σωματίδια
- Αν έχουμε διφασικό υγρό σύστημα

Ακουστική Σπηλαίωση (Acoustic cavitation) σε ομογενή υγρή φάση

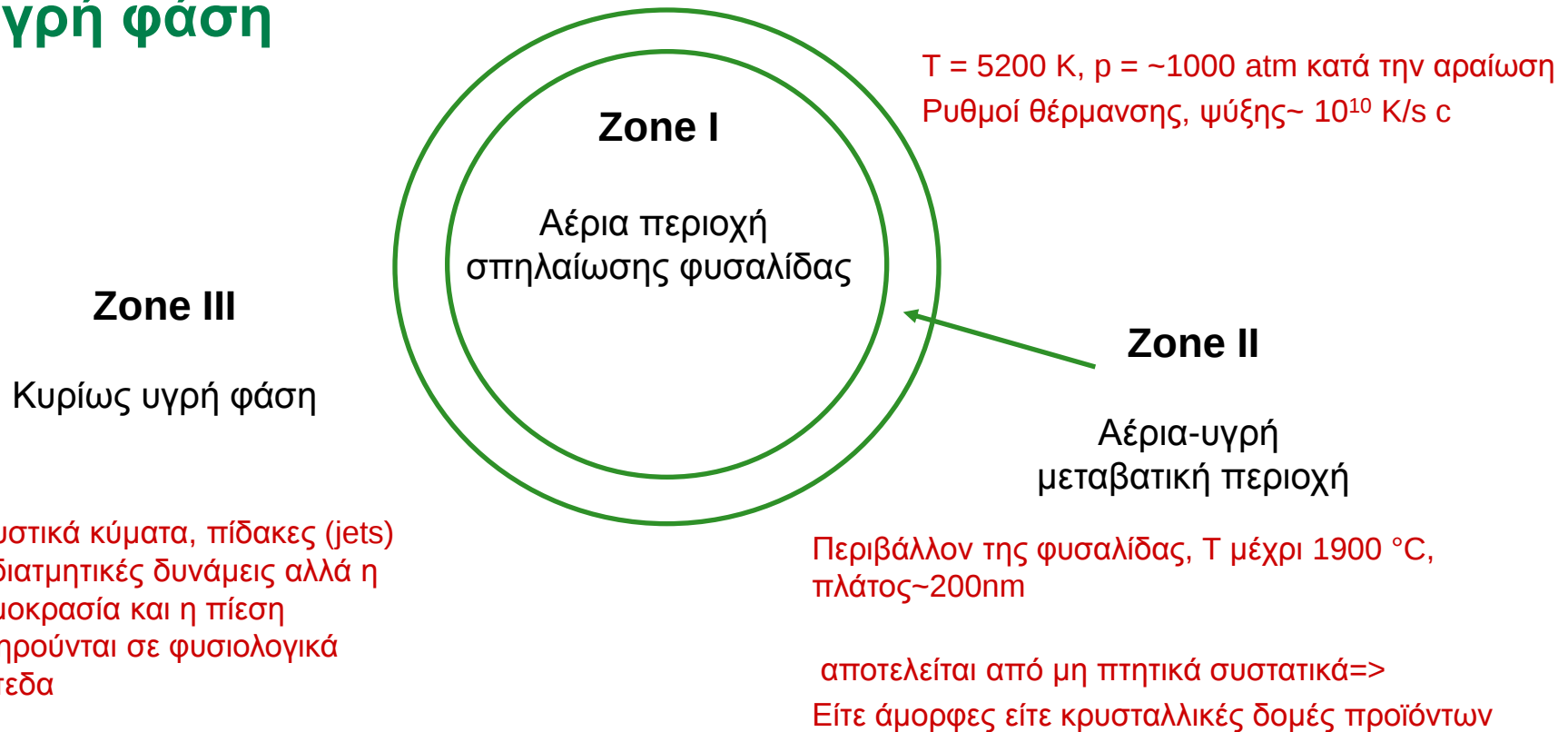


Σε ομογενή ρευστά η
σπηλαίωση παραμένει σφαιρική



3 περιοχές ηχοχημικής δραστηριότητας

Ακουστική Σπηλαίωση (Acoustic cavitation) σε ομογενή υγρή φάση



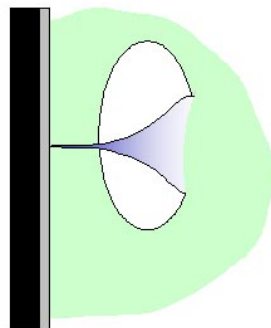
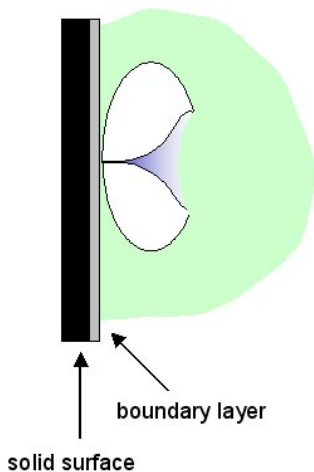
Αλλάζοντας απλά το μέσο αντίδρασης $\rightarrow$ αλλαγές σε P, T
 $\rightarrow$ διάφορες μορφές νανουλικών

Ακουστική σπηλαίωση σε υγρό κοντά σε στερεή επιφάνεια

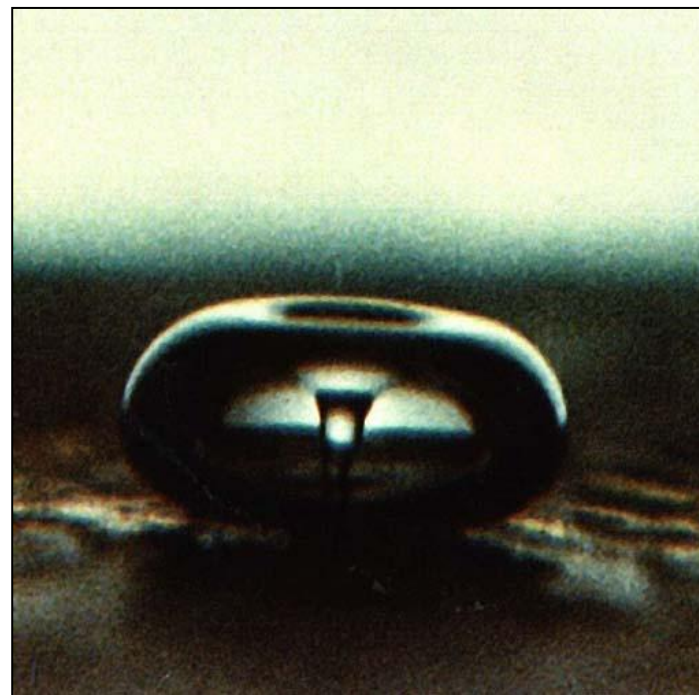
ACOUSTIC CAVITATION

Collapse at or near a solid surface

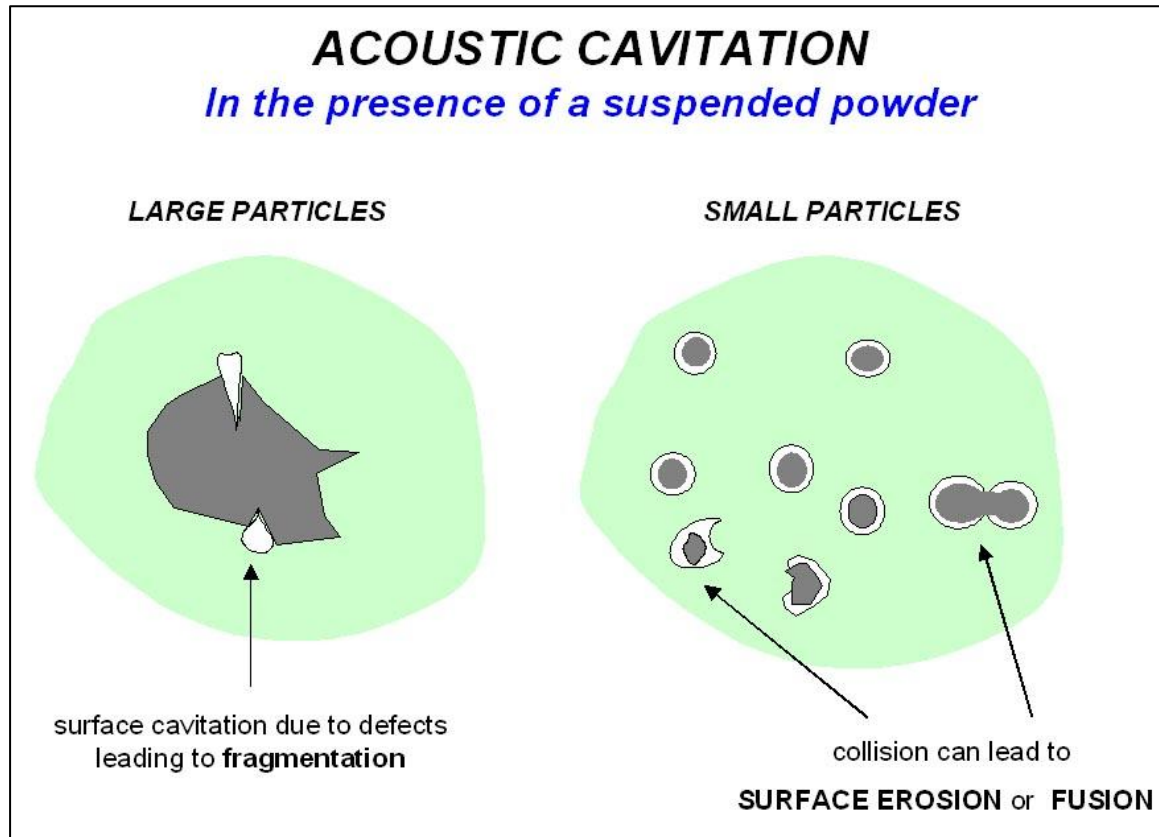
Inrush of liquid from one side of the collapsing bubble produces powerful jet of liquid targeted at surface



Surface cleaning
destruction of boundary layer
surface activation
improved mass and heat transfer

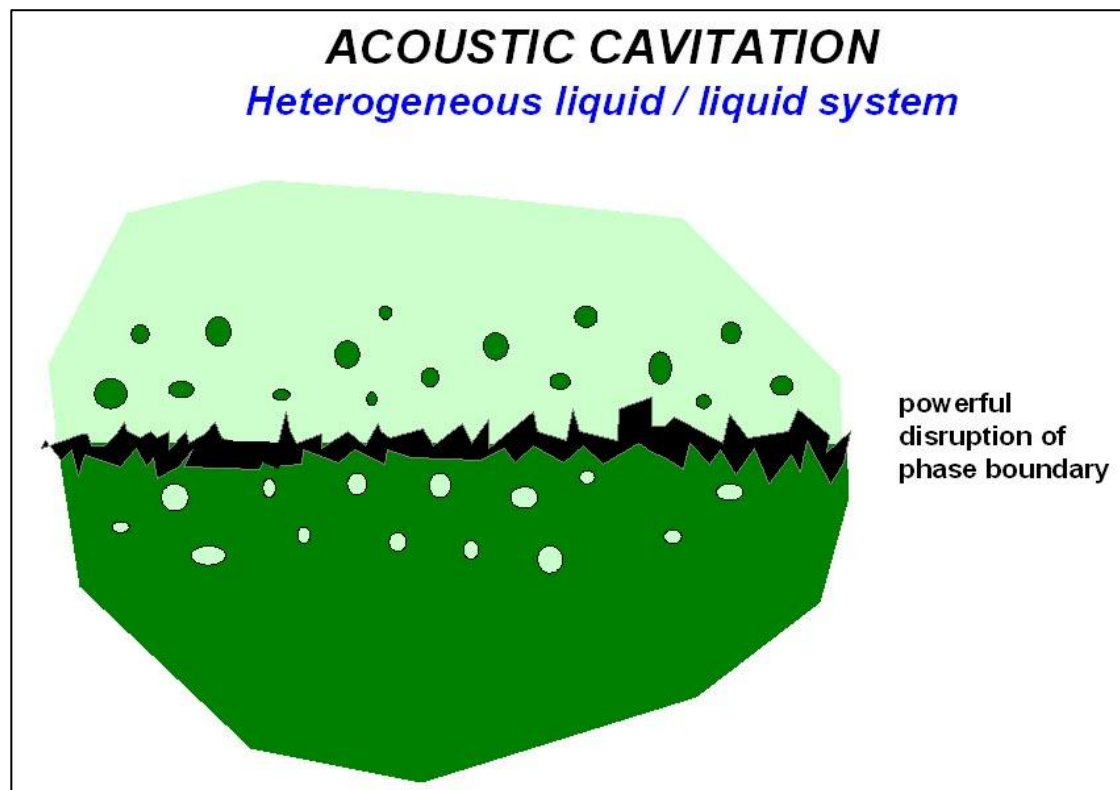


Ακουστική σπηλαίωση σε υγρό που περιέχει αιωρούμενα σωματίδια



Η ακουστική σπηλαίωση μπορεί να προκαλέσει δραματικά αποτελέσματα σε αιωρούμενες σκόρες σε υγρό μέσο

Ακουστική σπηλαίωση σε διφασικό υγρό σύστημα



Σε ετερογενείς αντιδράσεις υγρού/υγρού, η κατάρρευση της σπηλαίωσης κοντά στη διεπιφάνεια προκαλεί καταστροφή της και ανάμειξη με αποτέλεσμα το σχηματισμό πολύ καλών γαλακτωμάτων

Πιθανά πλεονεκτήματα χρήσης υπερήχων στη χημεία

- Οι αντιδράσεις μπορούν να επιταχυνθούν σε ήπιες συνθήκες
- Πιθανότητα χρήσης ακατέργαστων αντιδρώντων
- Ο αριθμός των βημάτων σε μία διαδικασία σύνθεσης μπορεί να μειωθεί
- Η αντίδραση μπορεί να οδηγηθεί σε εναλλακτικό μονοπάτι
- **Σχετικά με νανοϋλικά:** μικρότερα σωματίδια, πιο ομαλή κατανομή/διασπορά, μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια, καλύτερη θερμική σταθερότητα και καθαρότητα φάσεων

SYNTHETIC PROTOCOLS INVOLVING METALS AND ORGANOMETALLIC REAGENTS

THE FAVOURITE DOMAIN IN SONOCHEMISTRY !

P. Renaud,

Bull. Soc. Chim. Fr. **1950**, 1044

Certain organometallics could be quickly prepared in undried solvents using a simple cleaning bath

J.-L. Luche, J. C. Damiano,

J. Am. Chem. Soc. **1980**, 102, 7927

Facile sonochemical preparation of organolithium and Grignard reagents and their Barbier-type coupling with carbonyls



Ultrasonics in Organic Syntheses. 1. Effect on the Formation of Lithium Organometallic Reagents

Table I. Modified Barbier Reaction with Ultrasonic Irradiation

R-X	Carbonyl compound	Product	Reaction time (min)	Yield ^a
CH ₃ I			10	100 (92)
n-C ₃ H ₇ Br	C ₆ H ₅ -CHO		10	100
s-C ₃ H ₇ Br			15	100 (96)
n-C ₄ H ₉ Br	(n-C ₄ H ₉) ₂ C=O	(n-C ₄ H ₉) ₃ C-OH	15	100 (90)
			30	80 (88)
n-C ₄ H ₉ Br			15	100 (80)
n-C ₄ H ₉ Br			15	84
t-C ₄ H ₉ Br			30	76
C ₆ H ₅ Br			30	100 (95)
C ₆ H ₅ CH ₂ Br	C ₆ H ₅ -COCH ₃		10	95
C ₆ H ₅ Br	C ₆ H ₅ -COCH ₃		30	92 (83)

“the superiority of the ultrasound irradiation method is strikingly evidenced in the Barbier reaction. This one-step coupling of an organic halide with a carbonyl compound is usually achieved with magnesium. Lithium can replace it. We have found that ultrasonic irradiation allows this reaction to be performed in wet technical grade tetrahydrofuran. The formation of the organolithium intermediate and its subsequent reaction proceed readily and in high yield”

Jean-Louis Luche,* Jean-Claude Damiano[†]
Laboratoire de Chimie Organique—CERMO
Université Scientifique et Médicale
38041 Grenoble, France

Received July 9, 1980



SYNTHETIC PROTOCOLS INVOLVING METALS AND ORGANOMETALLIC REAGENTS

B. H. Han; P. Boudjouk

J. Org. Chem. **1982**, 47, 5030

Reformatsky reactions under
sonication with outstanding
yields and rates

O. Repic, S. Vogt

Tetrahedron Lett. **1982**, 23, 2729

Sonochemical variation of
Zn-mediated Simmons-Smith
cyclopropanation of alkenes

J.-L. Luche and P. Cintas, *Active Metals. Preparation, Characterization, Applications*, ed. A. Fürstner, VCH, Weinheim, 1996, pp. 133-190.

Effects of Ultrasonic Waves on the Generation and Reactivities of Some Metal Powders

Table I

metal powder	metal halide	reducing agent	condns ^a	red. time
Zn	ZnBr ₂	K	A	4 h ⁶
Zn	ZnBr ₂	Li	B	<40 min
Mg	MgCl ₂	K	A	1-2 h ⁷
Mg	MgCl ₂	Li	B	<40 min
Cr	CrCl ₃ ·3THF	K	A	2 h ⁸
Cr	CrCl ₃	Li	B	<40 min
Cu	CuI ₂	K	A	8 h ⁹
Cu	CuBr ₂	Li	B	<40 min

^a A = reduction in refluxing THF; B = reduction with lithium powder and ultrasound at room temperature in THF.

Philip Boudjouk, Dennis P. et al.
Organometallics **1986**, 5, 1257-1260

“Ultrasound accelerates the lithium reductions of a variety of metal halides to metal powders”

Table II

metal halide	red. time	
	US	stirring ¹⁰
NiCl ₂	<40 min	18 h
FeCl ₂	<40 min	24 h
PdCl ₂	<40 min	26 h
CoCl ₂	<40 min	19 h
PbCl ₂	<40 min	

Table III. Reductions in the Presence of Lithium Poders

metal halide	red. time	
	US	stirring
NiCl ₂	<40 min	14 h
NiI ₂	<40 min	12 h
CuBr ₂	<40 min	13 h
CuI	<40 min	12 h

Chem. Mater. **1998**, *10*, 1446–1452

Synthesis, Characterization, and Properties of Metallic Copper Nanoparticles

N. Arul Dhas, C. Paul Raj, and A. Gedanken*

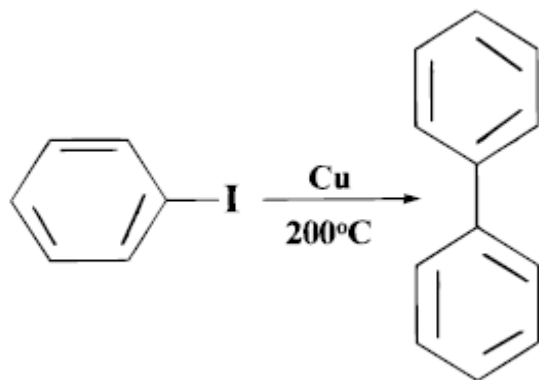


Table 1. Catalytic Yield of the Biphenyl in the Ullmann Reaction at 200 °C for 5 h for the Copper Catalyst Having Different Particle Sizes

source of copper catalyst	particle size (nm)	yield (%)
sonochemical	50–70	88
thermal	200–250	79
commercial	500–600	43



Sonochemical Activation of Transition Metals

Kenneth S. Suslick* and Robert E. Johnson

*School of Chemical Sciences, University of Illinois
Urbana, Illinois 61801*

Received July 12, 1984

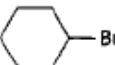
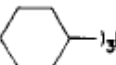
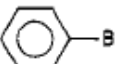
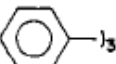
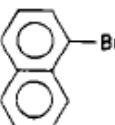
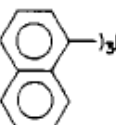
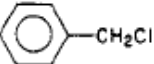
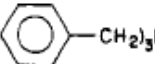
The activation of transition metals remains an important goal and continues to engender major efforts in heterogeneous catalysis,¹ metal-vapor chemistry,² and synthetic organometallic efforts.³ We wish to report that the use of high-intensity ultrasound dramatically enhances the reactivity of transition-metal dispersions. Ultrasound ameliorates the condition necessary for the preparation of early-transition-metal carbonyl anions, and we believe that the technique has general ramifications.

“the use of ultrasound in chemical synthesis may well develop an important niche in the chemical community”

J. Org. Chem. **1986**, 51, 427–432

Organoboranes. 43. A Convenient, Highly Efficient Synthesis of Triorganylboranes via a Modified Organometallic Route

$$3\text{RX} \xrightarrow[\langle\text{Et}_2\text{O}\rangle]{\text{Mg, BF}_3 \cdot \text{OEt}_2} \text{R}_3\text{B}$$

organic halide	reacn time, h	product	% yield ^b
<i>n</i> -C ₃ H ₇ Br	0.25	(<i>n</i> -C ₃ H ₇) ₃ B	100 (92) ^c
<i>n</i> -C ₄ H ₉ Br	0.25	(<i>n</i> -C ₄ H ₉) ₃ B	100
<i>sec</i> -C ₅ H ₁₁ Br	0.50	(<i>sec</i> -C ₅ H ₁₁) ₃ B	96
	0.50		99
	0.25		97 (87) ^c
	0.50		93
	0.50		99
	0.25		94
<i>n</i> -C ₇ H ₁₅ I	0.25	(<i>n</i> -C ₇ H ₁₅) ₃ B	90

^a All reactions were done at 0.25 M concentration. ^b Determined by gas chromatography after oxidation. ^c Isolated yield.

INDUSTRIAL USE OF POWER ULTRASOUND IN ORGANIC SYNTHESIS

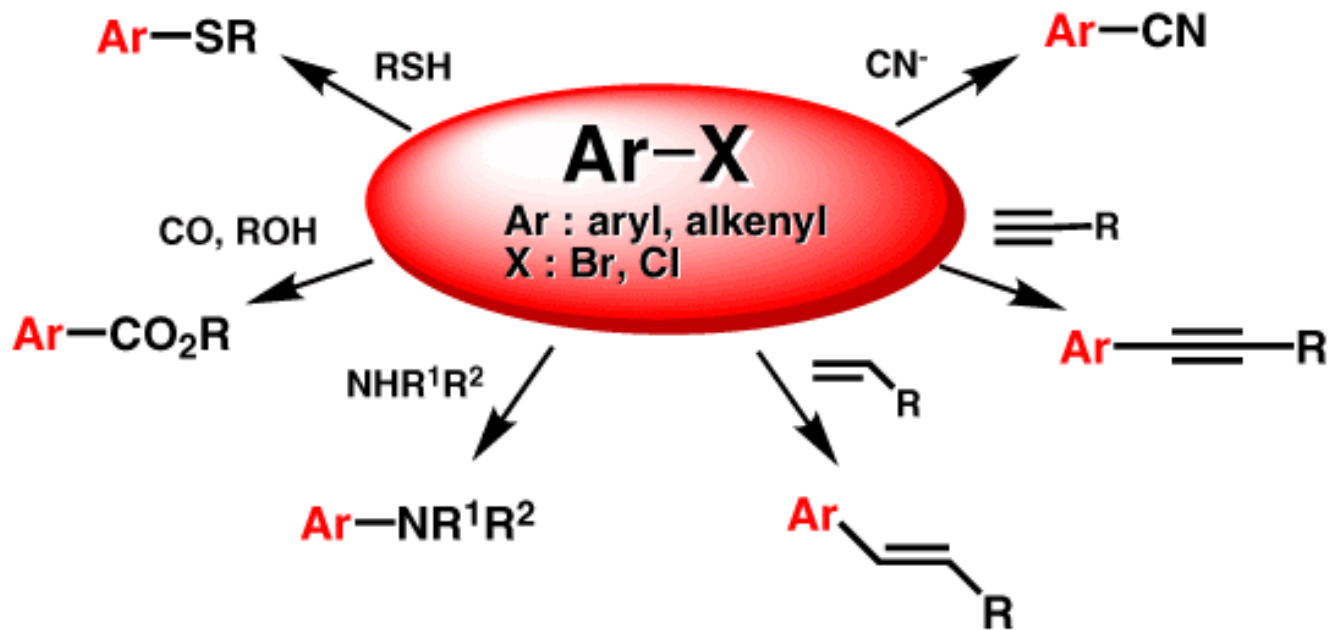
IN THE LATE '60s PIONEERING WORK WAS CARRIED OUT BY SARACCO AND ARZANO ON THE US-ASSISTED HYDROGENATION OF UNSATURATED ESTERS

Saracco, G.; Arzano, F. *La Chimica e l'Industria*. **1968**, 50, 314-318.

Based on the work of Saracco and Arzano it is known that the reactor geometry has a large influence on the reaction system. For scale up of processes this behavior is very critical and complicates an industrial implementation. It must also be pointed out that the additional ultrasound equipment needs an additional investment.

Bonrath, W. *Ultrason. Sonochem.* **2005**, 12, 103–106.

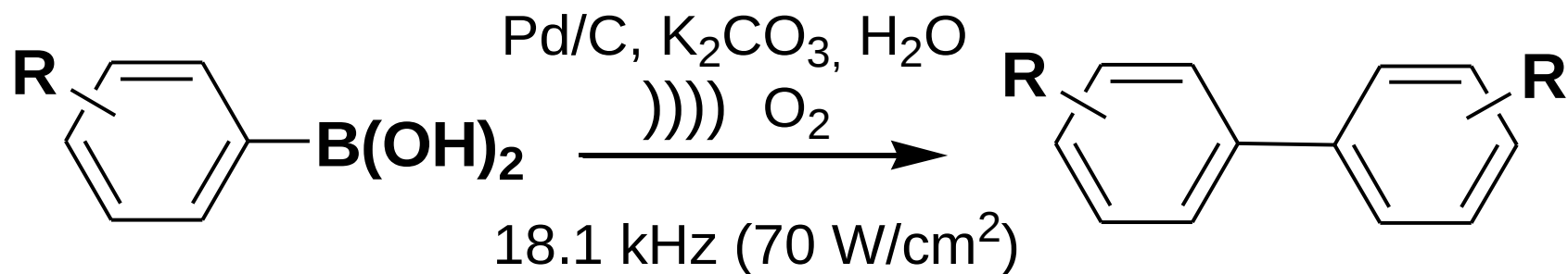
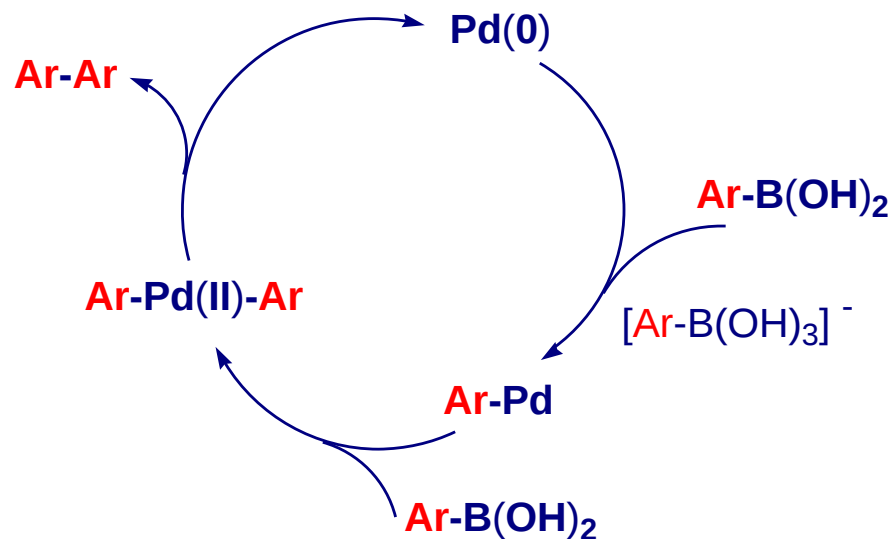
Pd-CATALYZED C-C COUPLINGS UNDER US



- ★ Cravotto, G.; Palmisano G.; Tollari, S.; Nano, *Ultrason. Sonochem.* **2005**, 12 (1-2), 91-94.
- ★ Cravotto, G.; Beggiato, M.; Palmisano, G.; Lévêque, J.M., Bonrath W. *Tetrahedron Lett.* **2005**, 46 (13), 2267-2271.
- ★ Cravotto, G. Demartin, F.; Palmisano, G.; Penoni, A.; Tollari, S. *J. Organomet. Chem.* **2005**, 690 (8), 2017-2026.
- ★ Palmisano, G.; Bonrath, W.; Boffa, L.; Garella, D.; Cravotto, G. *Adv. Synth. Catal.* **2007**, 349, 2338-2344.

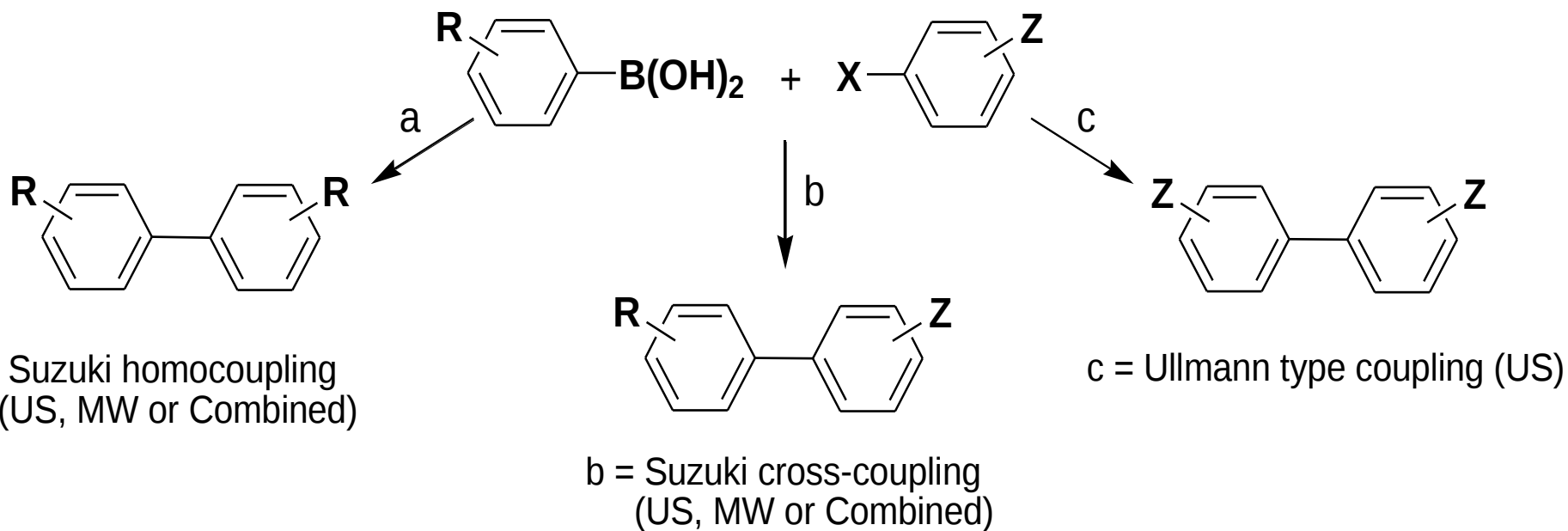
SUZUKI HOMOCOUPLING

CATALYTIC
CYCLE



★ Cravotto, G.; Palmisano G.; Tollari, S.; Nano, *Ultrason. Sonochem.* **2005**, 12 (1-2), 91-94.

Pd/C-Catalyzed Aryl-Aryl Couplings



Cravotto, G.; Beggiato, M.; Palmisano, G. *et al. Tetrahedron Lett.* **2005**, 46, 2267-2271.

Γενικές περιοχές συχνοτήτων για τη χρήση Υπερήχων στην Ιατρική και στη Φαρμακοβιομηχανία

ΥΨΗΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (χαμηλή ισχύς)

Όχι μόνιμα αποτελέσματα σε ιστούς
Τεχνολογία διαχωρισμού

ΧΑΜΗΛΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (υψηλή ισχύς)

*Οδοντιατρική και χειρουργεία (scalpel and bone cutting)
Μικροκάψουλες και φάρμακα*

Υψηλής Συχνότητας (Θεραπευτικοί)

*Καταστροφή θρόμβων αίματος
Διαδερμική χορήγηση φαρμάκου (Sonophoresis)
Ενεργοποίηση απορρόφησης φαρμάκου
Ηχοδυναμική θεραπεία
Υψηλής έντασης εστιασμένοι υπέρηχοι*

Χαμηλής συχνότητας θεραπευτικοί υπέρηχοι (Low Frequency Therapeutic Ultrasound)

Ultrasonic Tooth Descaler (30kHz)



Photo courtesy of Cavitron

30 kHz ultrasonic descaler

Ultrasonic Bone Surgery



Photo courtesy of Ace Surgical Supply Inc.

Διάφορα είδη εργαλείων κοπής

Ultrasonic Scalpel (55kHz)

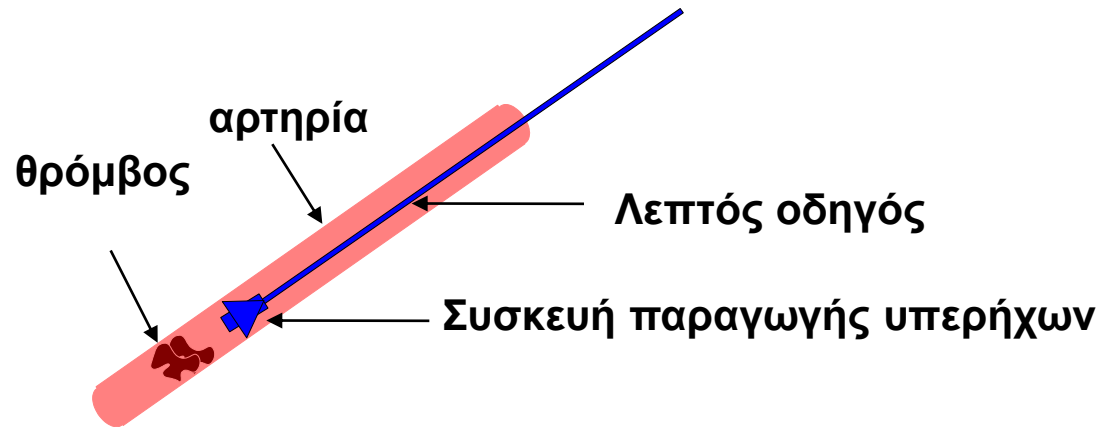


Photo courtesy of Ethicon Endo-Surgery

Ακριβής κοπή και πήξη αίματος
Ελάχιστη πλευρική βλάβη των ιστών

Υψηλής συχνότητας θεραπευτικοί υπέρηχοι

Καταστροφή θρόμβων αίματος



- Μικροσκοπική συσκευή υπερήχων εισέρχεται στην αρτηρία
- Διαγνωστικοί υπέρηχοι χρησιμοποιούνται για να οδηγηθούμε στο θρόμβο
- Ινολυτικά ένζυμα τροφοδοτούνται και η παραγωγή υπερήχων ξεκινά
- Ο θρόμβος διαλύεται

Υψηλής έντασης εστιασμένος υπέρηχος High Intensity Focused Ultrasound (HIFU)

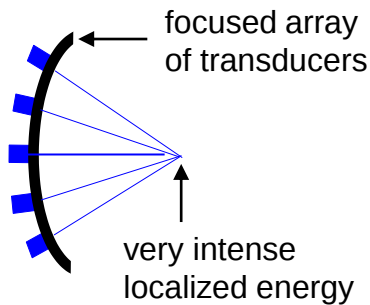


Εστίαση φωτός μέσω φακού

Στο ηλιακό φως μπορεί να κάψει το χαρτί

Στο εστιακό αποτύπωμα μεγενθυτικού φακού

Επηρεάζει την **επιφάνεια**



Εστίαση υπερήχων με συστοιχία ηχωδίων

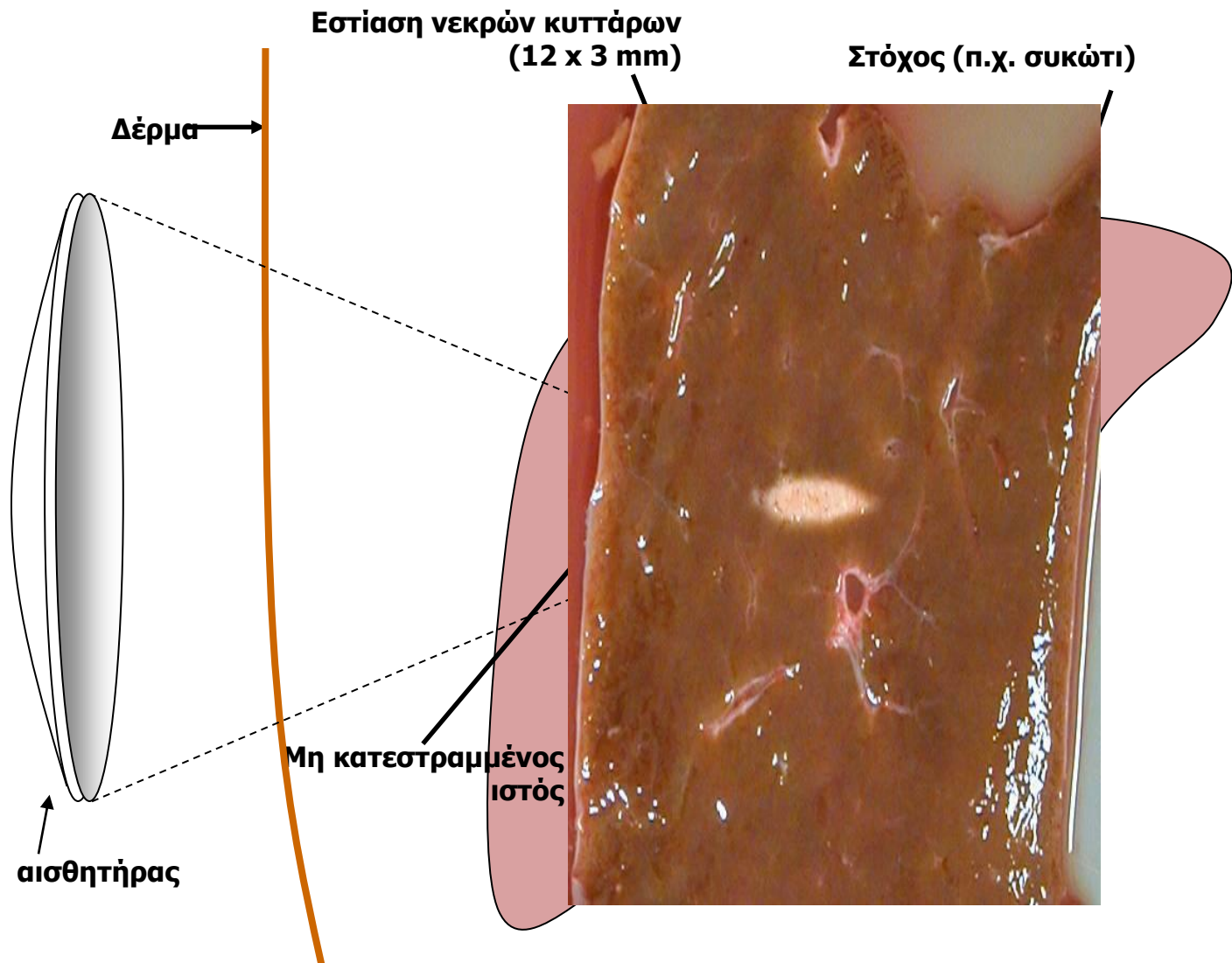
Μεμονωμένες ακτίνες με χαμηλή ενέργεια

Η εστίαση παράγει υψηλή ενέργεια

Επηρεάζει μία περιοχή **κάτω από την επιφάνεια**

Μεμονωμένες ακτίνες με χαμηλή ενέργεια – **δεν καταστρέφουν κύτταρα**
Η εστίαση παράγει υψηλή ενέργεια - **αρκετό για να καταστρέψει ή να νεκρώσει κύτταρα**

HIFU – Αρχή λειτουργίας



Courtesy of Dr. Gail ter Haar

Εστιασμένος υπέρηχος

Περαιτέρω ιατρικές εφαρμογές

Σταμάτημα αιμορραγίας (εσωτερικά ή στο χειρουργείο)

Θεραπεία καρκίνου (ηχοδυναμική θεραπεία)

Θεραπεία καρκίνου (στερεοί όγκοι)

Συμπεράσματα – Θεραπευτικός υπέρηχος

HIGH FREQUENCY (LOW POWER) FOR SEPARATIONS
Ultrasonic Standing Wave (USW) technology – Advanced Research

LOW FREQUENCY (POWER)
Descaling and cutting - Commercial instruments available
Microcapsules and drug delivery - Advanced Research

HIGH FREQUENCY THERAPEUTIC
Destruction of blood clots - Advanced Clinical Trials
Transdermal drug delivery – Commercial
Improved drug uptake in cells – Advanced Research
Sono-Dynamic Therapy – Advanced Research
High Intensity Focused Ultrasound - Commercial

Προκλήσεις στην επεξεργασία τροφίμων ευκολίας

Απαιτήσεις προμηθευτή και καταναλωτή:

- **Ποιότητα:** φρεσκότητα, υφή, χρώμα, βιταμίνες
 - **Διάρκεια ζωής:** παθογενή, spoilage micro-organisms and
 - chemical, συχνότητα ψωνίσματος
 - **Ασφάλεια:** παθογενή, καταστροφή μικρο-οργανισμών, χημικά (τοξίνες), φυσικά (γυαλί κλπ)
 - **Άνεση:** αμεσότητα στη θέρμανση και βορά
 - **Ευελιξία:** άμεση διάθεση στον καταναλωτή
- ⇒ Επιπροσθέτως στις υπάρχουσες/συμβατικές τεχνολογίες, νέες λύσεις είναι απαραίτητες για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις :

■ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Προκλήσεις στην επεξεργασία τροφίμων ευκολίας

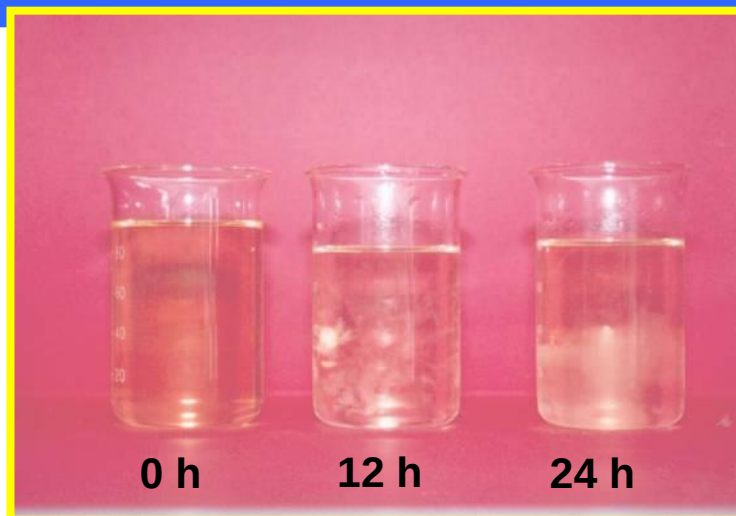
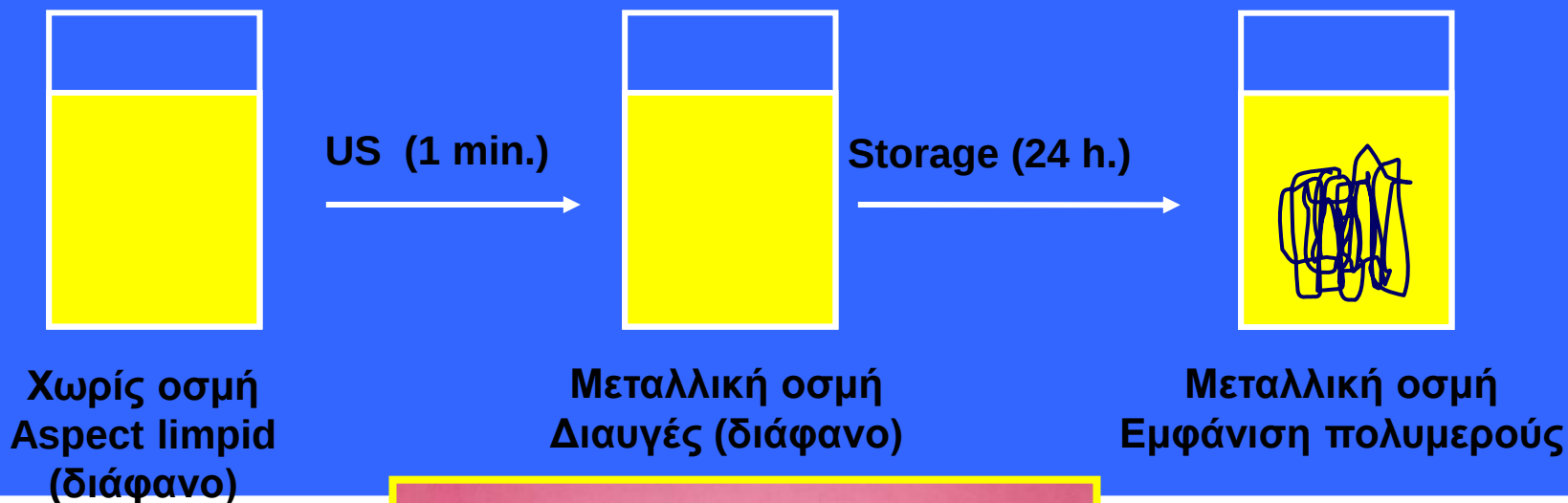
Το Μενού

Υπέρηχοι στην Τεχνολογία Τροφίμων

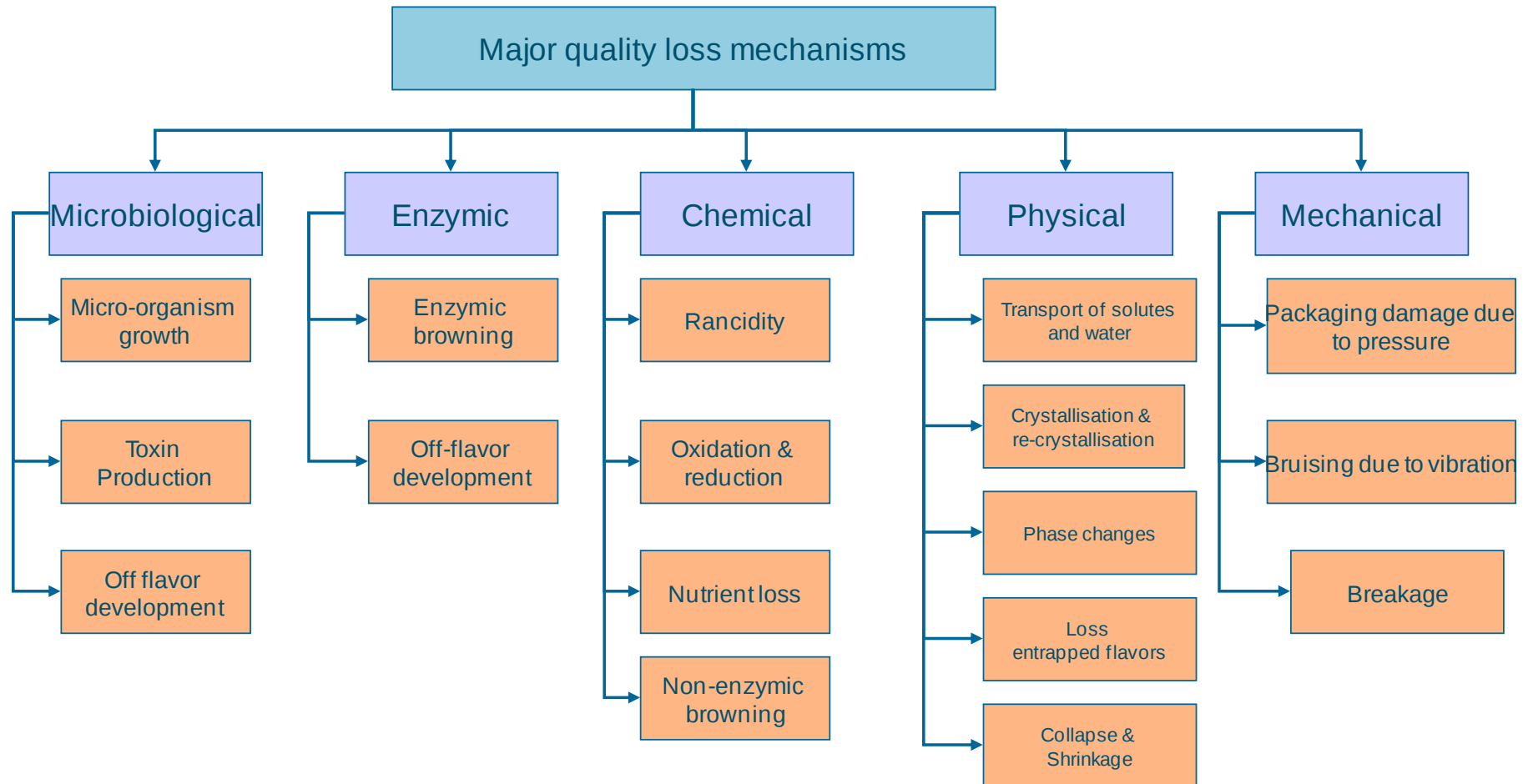
1. HACCP και HAZOP
2. US στην επεξεργασία Τροφίμων
3. US στη συντήρηση Τροφίμων
4. US στην εξαγωγή Τροφίμων
5. Μελλοντικές τάσεις



Ηχο-υποβάθμιση (Sono-degradation) ηλιελαίου



Απώλεια ποιότητας στους μηχανισμούς τροφίμων



HACCP - HAZOP

HACCP

Hazard Analysis by Critical Control Point

Οδηγεί στην επεξεργασία και παραγωγή λιγότερο επιβλαβών τροφίμων αναλύοντας κινδύνους υγείας συσχετισμένους με επεξεργασία, διανομή και ακτανάλωση τροφίμων.

HAZOP

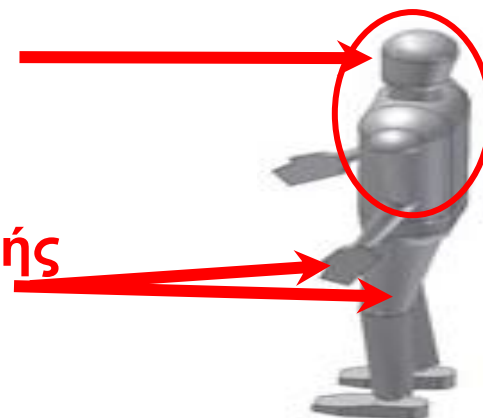
HAZard and OPerability study

Καθιερώθηκε για να αναγνωρίζει επικύνδυνες συνθήκες εργασίας σε συγκεκριμένο στάδιο παραγωγικής διαδικασίας και αξιολόγησης λειτουργικότητας

Ασφάλεια
Τροφίμων



Διασφάλιση
ανθρώπινης
και
περιβαλλοντικής
ασφάλειας



Εφαρμογές υπερήχων στην τεχνολογία τροφίμων

HACCP

- Διάβρωση ηχοδίων
- Δημιουργία ριζών
- δημιουργία πολυμερών
- Εμφάνιση οσμών

HAZOP

- Αποφυγή Ρύπανσης
- Ηλεκτρική διασφάλιση
- Ανάλυση κινδύνου
- Διαπιστευμένο προσωπικό

**HACCP και HAZOP βοηθούν στην εισαγωγή
των υπερήχων στην τεχνολογία τροφίμων**



Υπέρηχοι στην επεξεργασία τροφίμων

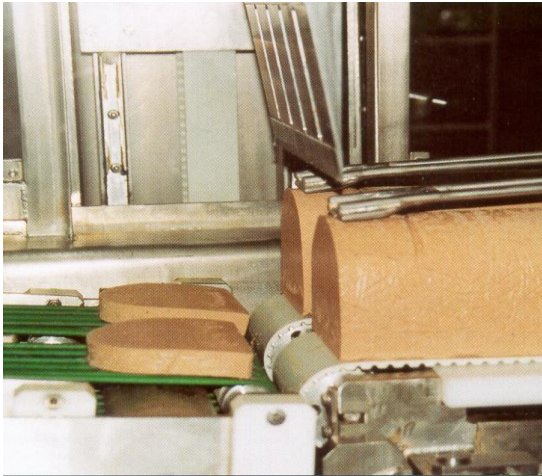
Υπέρηχοι στην κοπή τροφίμων (Food Cutting)



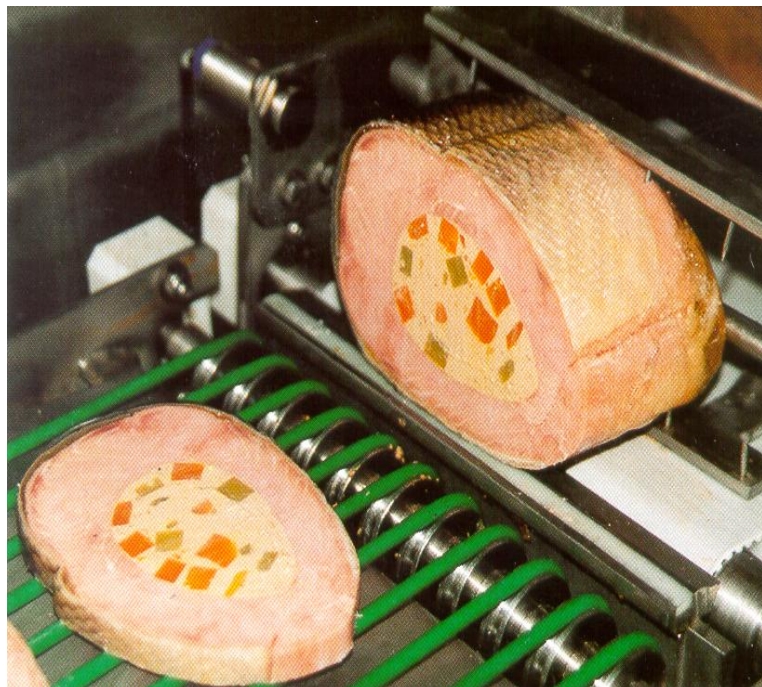
Συνθήκες Κοπής

- Ταχύτητα
- Καθαρισμός
- Υψηλή ποιότητα
- Άμορφα προϊόντα κοπής
- Καλή εμφάνιση προϊόντων

Υπέρηχοι στην κοπή τροφίμων (Food Cutting)



Υπέρηχοι στην κοπή τροφίμων (Food Cutting)



Πλεονεκτήματα κοπής με υπερήχους

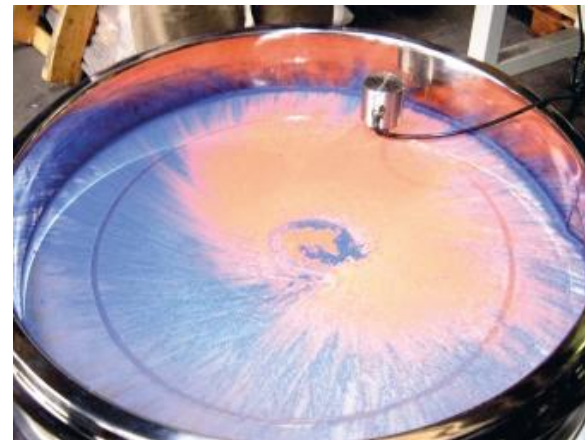
- Η ποιότητα της επιφάνειας κοπής είναι ομοιόμορφη
- Η κοπή με υπερήχους μπορεί να αυτοματοποιηθεί
- Οι ταχύτητες κοπής είναι παρόμοιες με τις συμβατικές ταχύτες
- Οι απώλειες ποιότητας προϊόντος είναι μειωμένες
- Η λεπίδα είναι αυτοκαθαρούμενη
- Τα τρόφιμα κόβονται πολύ πιο εύκολα

Μέλλον: Τηγανιτές πατάτες κομμένες με υπερήχους

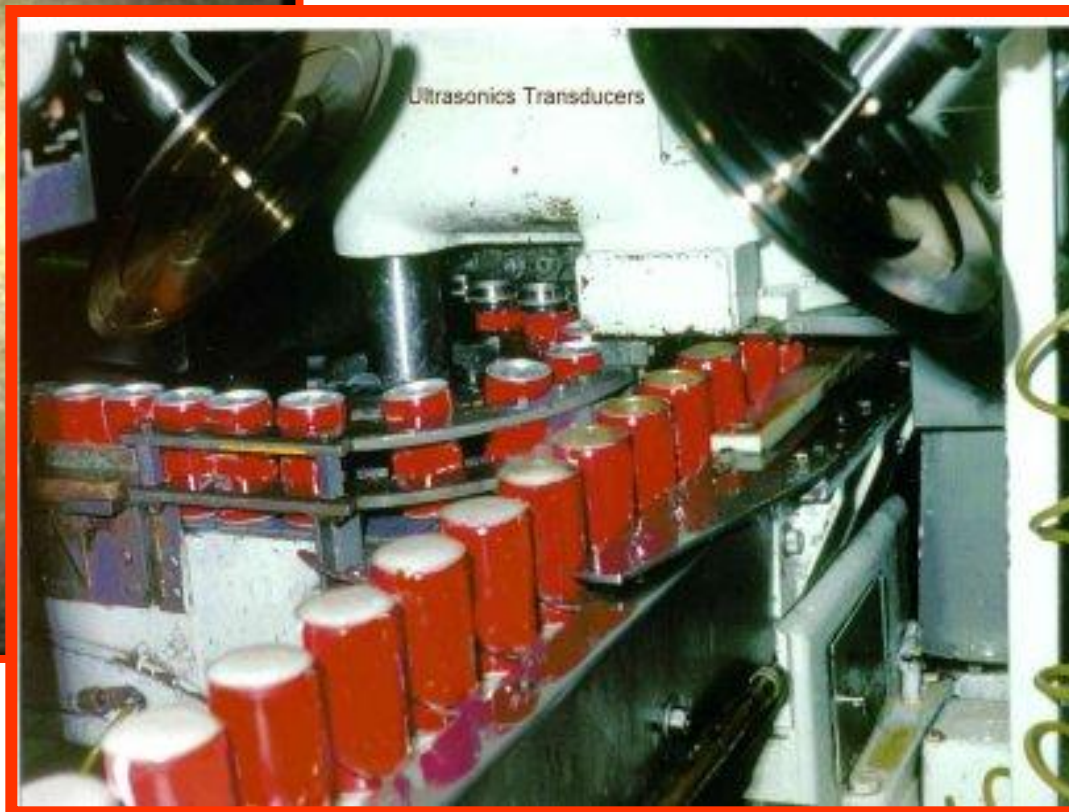
Μικρότερη επιφάνεια προσρόφησης ελαίου κατά τη διαδικασία τηγανίσματος

Ελαφρές τηγανιτές πατάτες

Υπέρηχοι για κοσκίνισμα αλεύρου και δημητριακών



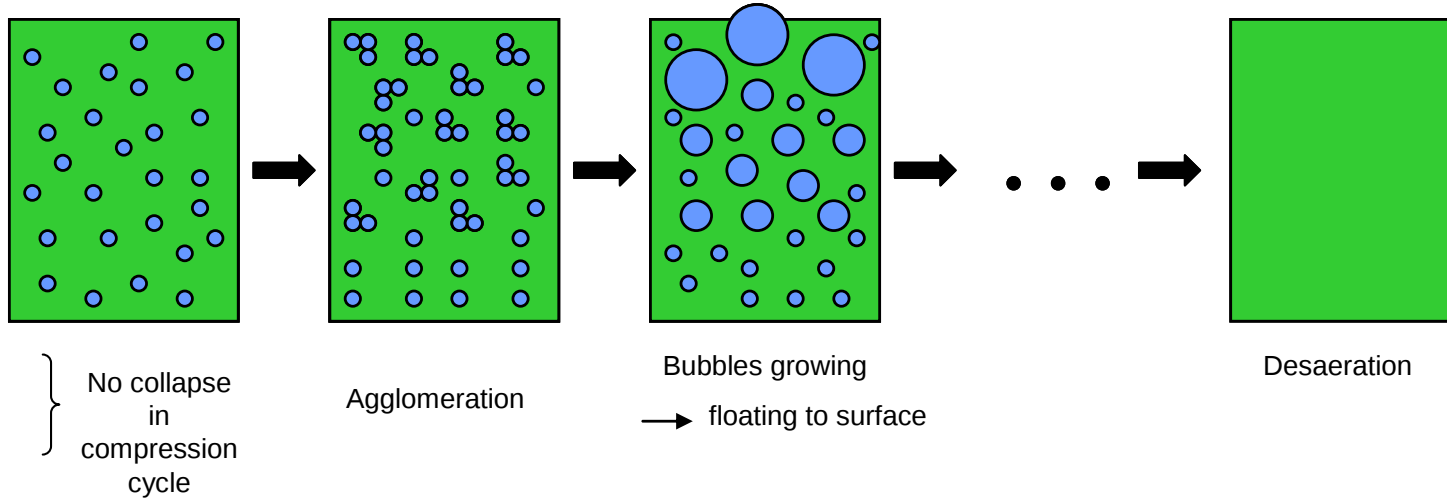
Υπέρηχοι για καταστροφή αφρού



Απαέρωση με υπέρηχους

Βασιζόμενη σε φαινόμενα απαέρωσης

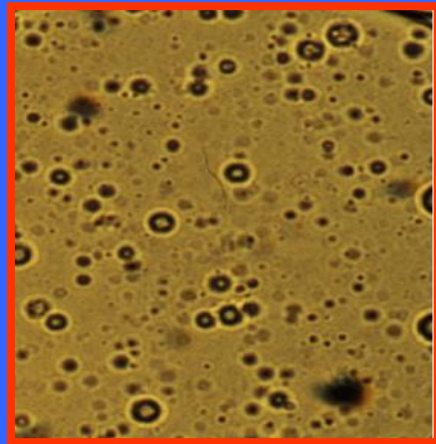
Διαλυμένο αέριο ή φυσαλίδες αερίου πυρήνες για δημιουργία φυσαλίδων λόγω σπηλαίωσης



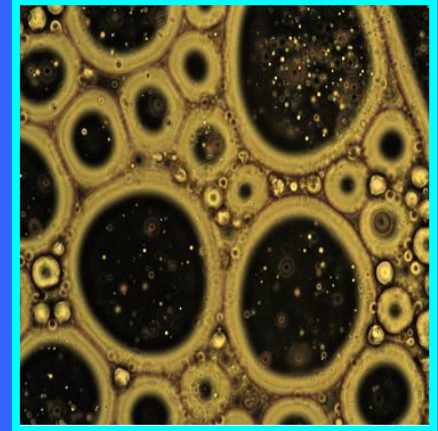
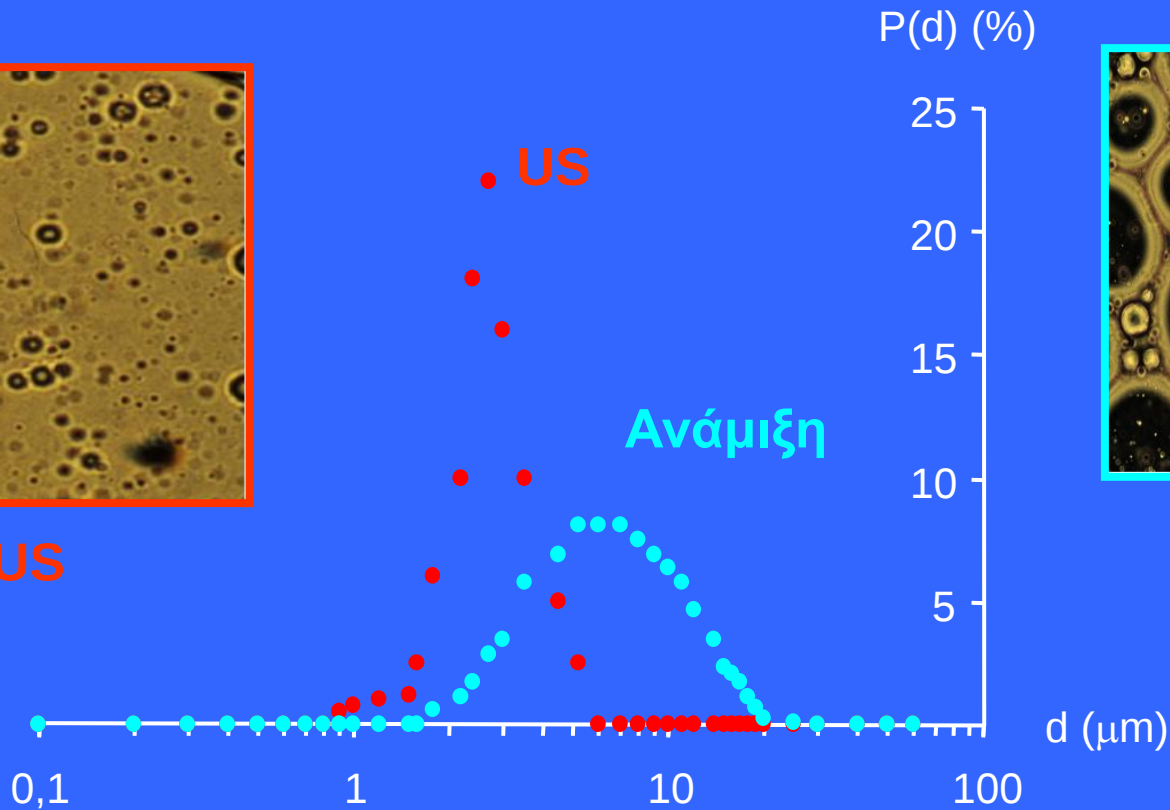
Κύκλοι αραίωσης ~40000times/sec (Χρησιμοποιώντας λουτρό υπερήχων)

↓
άμεση απαερίωση

Υπέρηχοι στην παραγωγή γαλακτομάτων



US



Ανάμιξη

Ηχο- μαγιονέζα : καλύτερη υφή

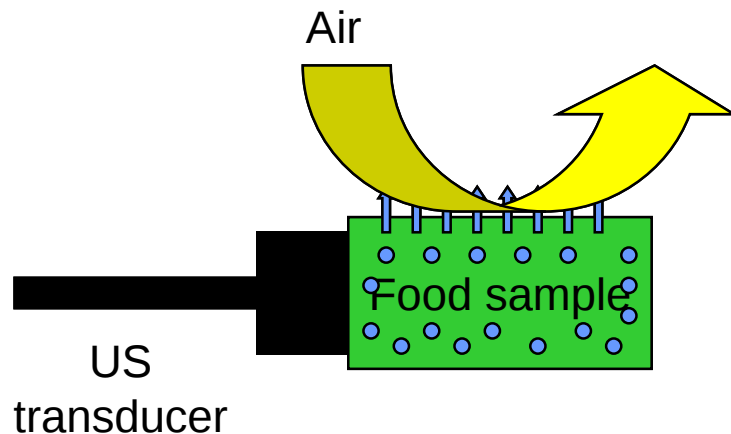
Υπέρηχοι στο μαρινάρισμα κρεάτων με αλάτι και βότανα



Υπέρηχοι στην ξήρανση τροφίμων

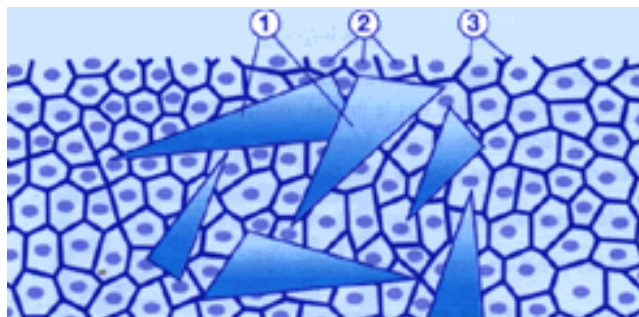
Ακουστική ξήρανση
=
Ενίσχυση μεταφοράς μάζας

Στερεό/αέριο
μεταφοράς μάζας



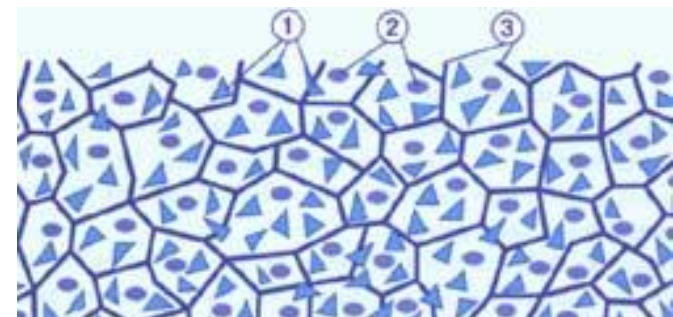
Συνήθως: **60 °C** αέρας
Με Υπέρηχους; 22°C αέρας

Υπέρηχοι στην κρυσταλλοποίηση και στην κατάψυξη



1. Κρύσταλλοι νερού
2. Κελιά
3. Τοιχώματα κελιών

κρύσταλλοι (500μm)



κρύσταλλοι (50μm)

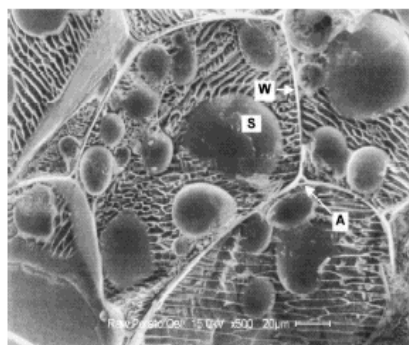


Fig. 2. Cryo-SEM micrograph for raw potato tissue (A: air space; S: starch granule; W: cell wall and membrane structure).

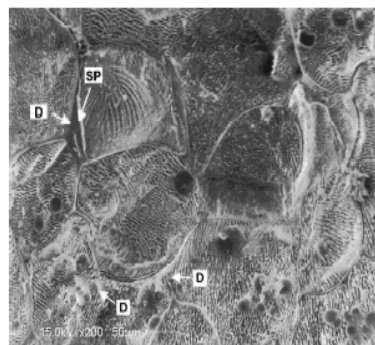


Fig. 3. Cryo-SEM micrograph for potato tissue by immersion freezing (low magnification) (D: disruption of cells; SP: separation of cells).

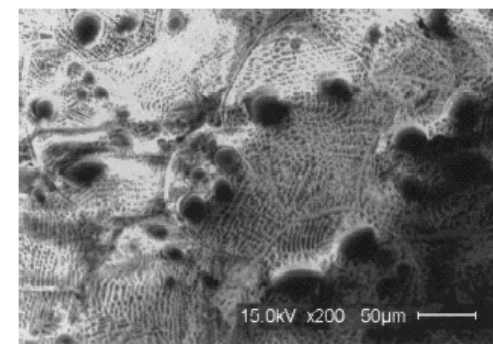


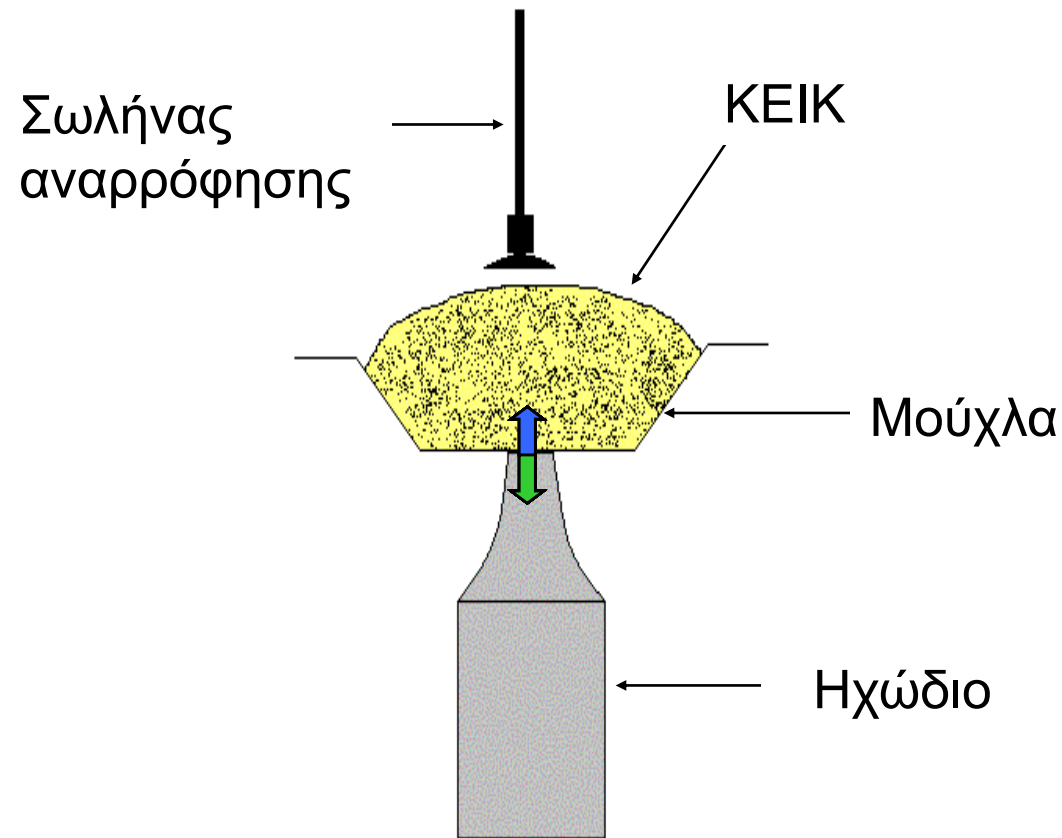
Fig. 5. Cryo-SEM micrograph for potato tissue by ultrasonically assisted immersion freezing under power of 15.85 W.

Τηγαντή πατάτα (Αρχικά)

Συμβατική ψύξη

Ψύξη με Υπέρηχους

Υπέρηχοι για απομάκρυνση εκμαγείων (demoulding)

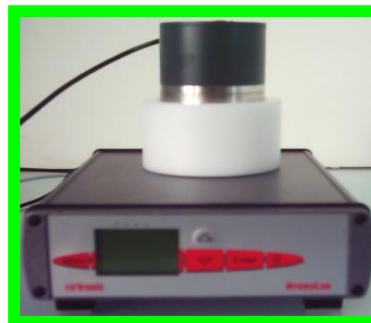


Το εκμαγείο / φόρμα
δονείται από το ηχώδιο

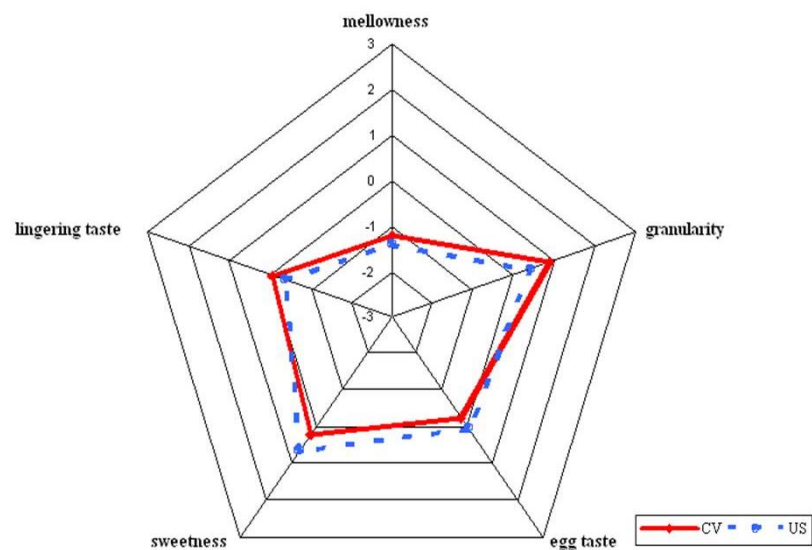


Εύκολη απομάκρυνση
μούχλας

Μαγείρεμα με υπερήχους – Μοριακό μαγείρεμα



Μαγείρεμα με υπερήχους – Μοριακό μαγείρεμα



Samples	Texture				a_w	Coloration	Viscosity (Pa.s)	PI (%)	Values attributed by panelists
	Hardness (g)	Springiness (mm)	Cohesiveness	Adhesiveness					
CV	85	4.50	0.299	192.80	0.9565	4.82	113.25	71.43	47.0
US	42	4.95	0.313	53.18	0.9240	5.205	157.15	50.00	41.0

Σημαντική διαφορά στο χρώμα αποδιδόμενη στο αποτέλεσμα αεριοποίησης/ομογενοποίησης με υπερήχους, παράγοντας επίσης διαφορετικές ιδιότητες. **Ελαφρά περισσότερη προτίμηση για το δείγμα από υπερήχους.**

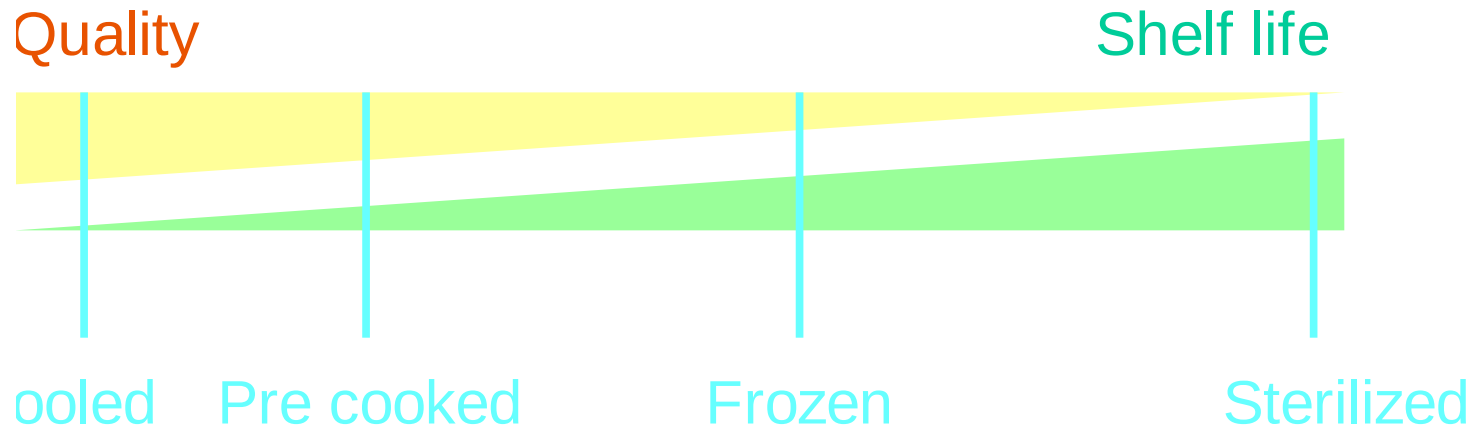


Υπέρηχοι στη συντήρηση τροφίμων

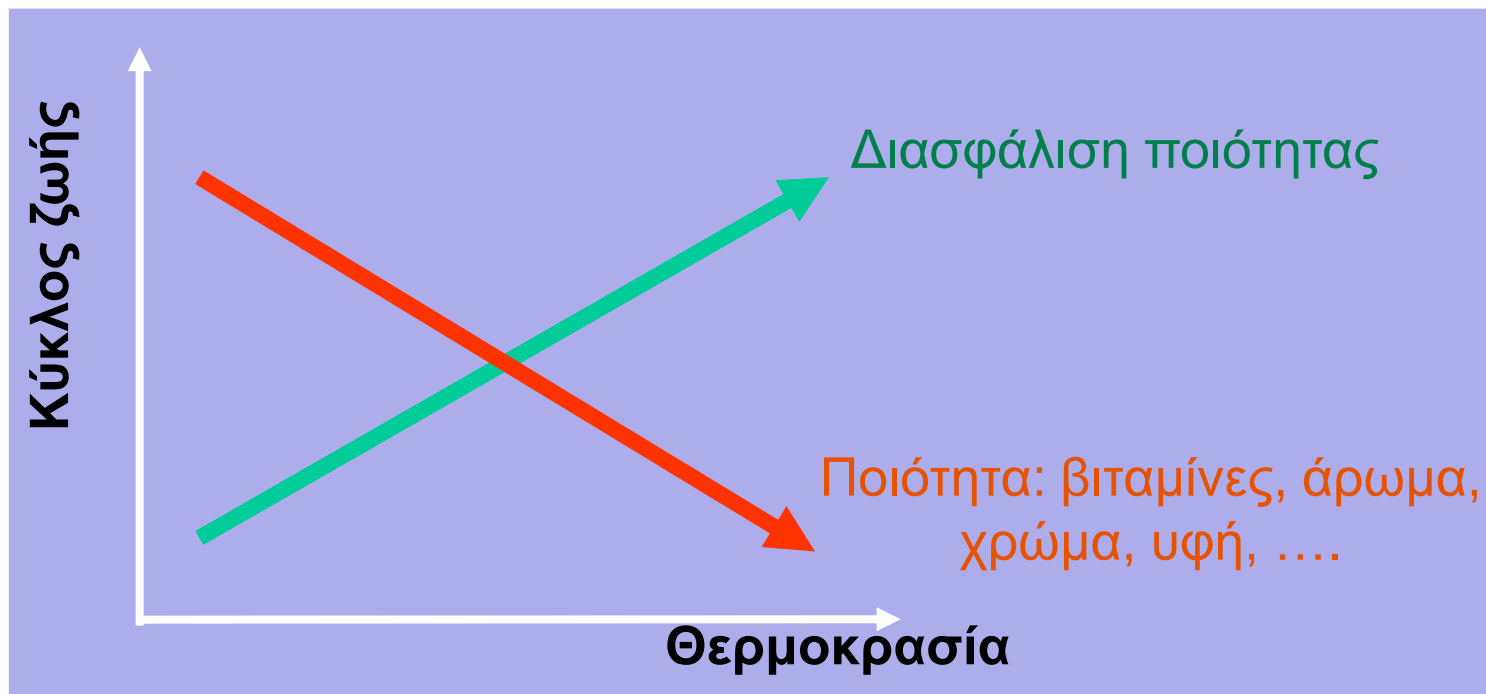
Υπέρηχοι στη συντήρηση τροφίμων

Διάρκεια ζωής και ποιότητα

- Φρεσκότητα: Μέγιστο 7 μέρες
- Προ-μαγείρεμα: μέγιστο 8 εβδομάδες
- Κατάψυξη: Μήνες
- Αποστείρωση: χρόνια



Υπέρηχοι (40°C) vs Παστερίωσης (80°C)



21 ημέρες
αποθήκευση



Έλεγχος

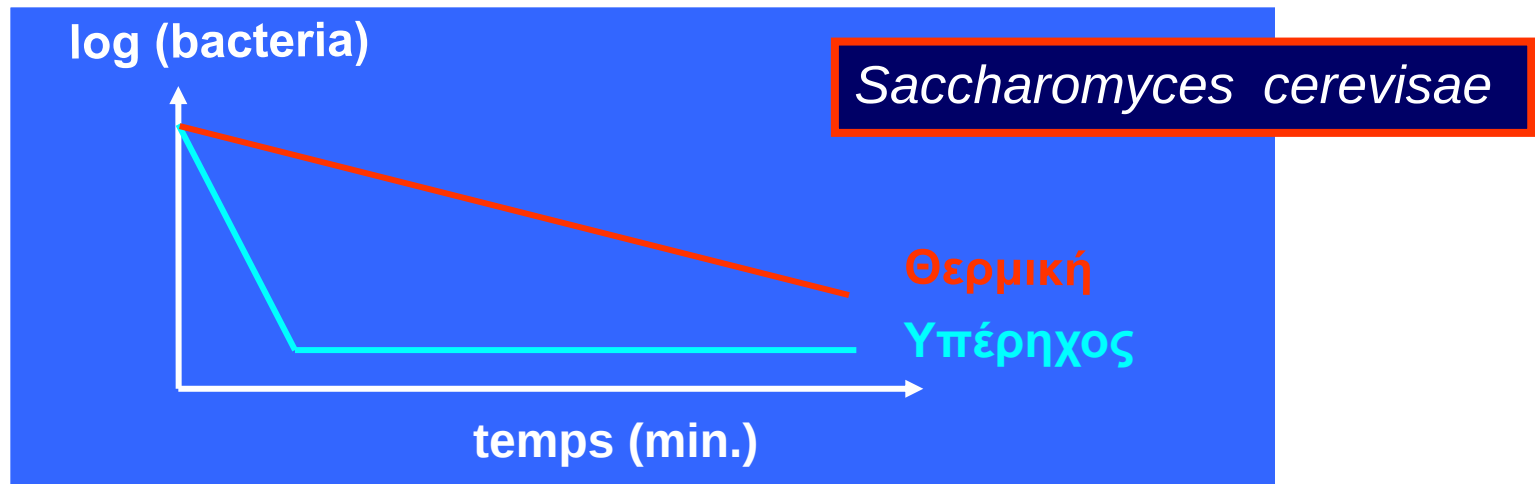


Υπέρηχος

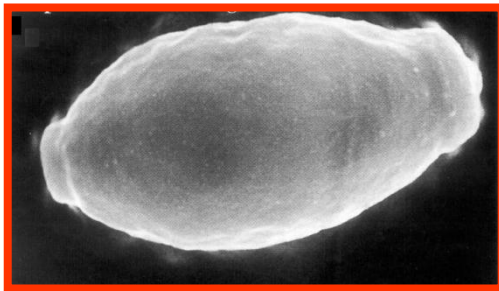


Παστερίωση

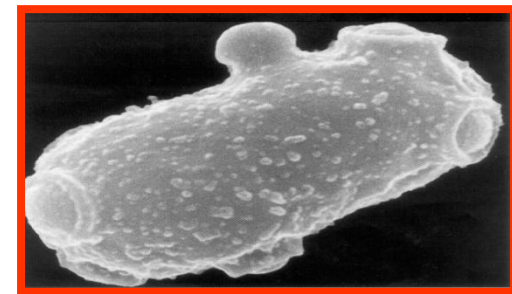
Υπέρηχοι στη συντήρηση τροφίμων



Χωρίς
Υπερήχους



Με υπερήχους

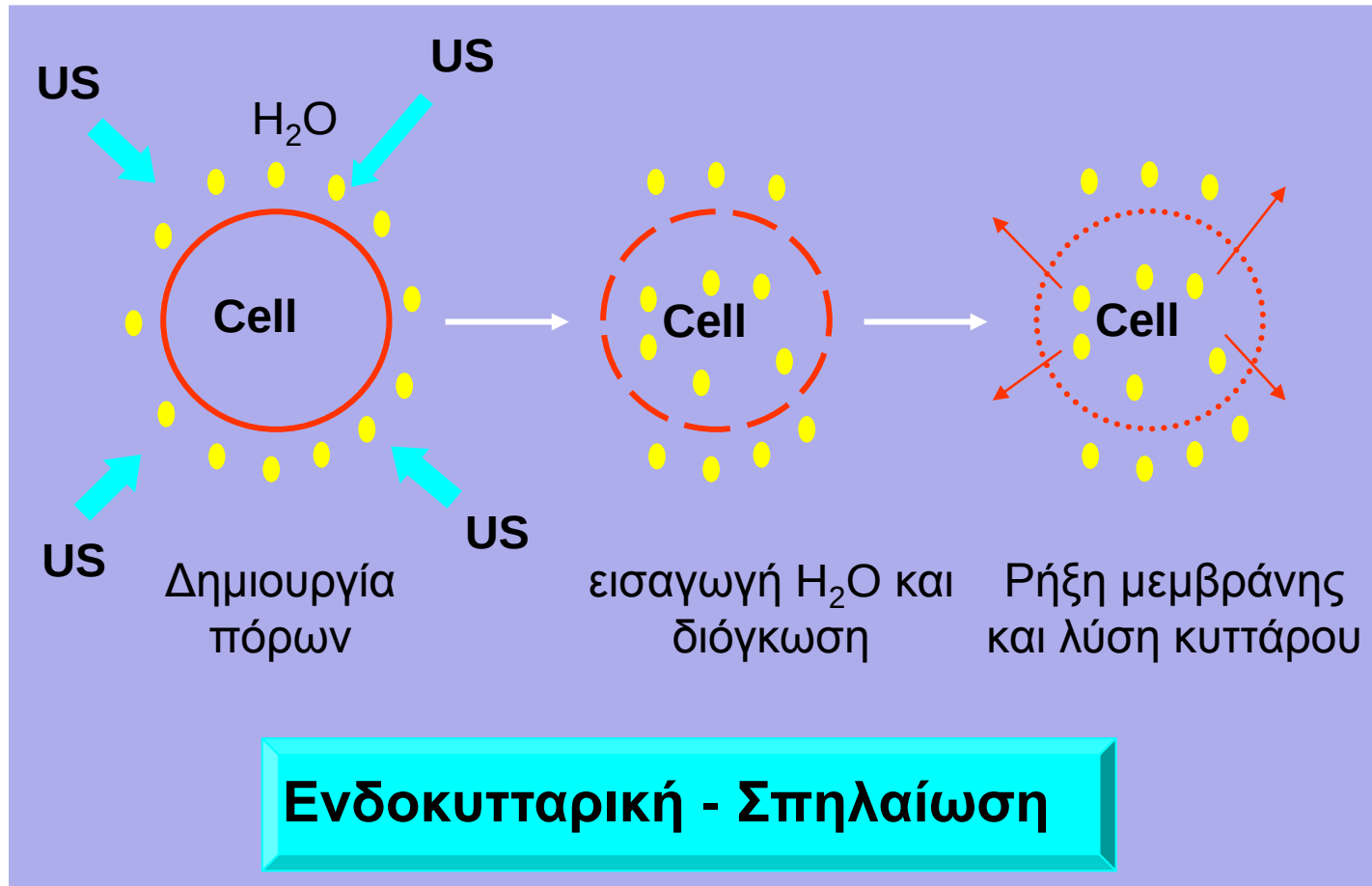


F. Chemat and coll., World Congress on Ultrasound, Copenhagen, Danemark, **juin 1999**.

Κατανόηση φαινομένων

Διαδικασία	Βακτήρια	Σπόρια	Ένζυμα
Υπέρηχοι (US)	+	-	-
Υπέρηχοι + Θερμοκρασία (TS)	+	+	-
Υπέρηχοι + Πίεση + Θερμοκρασία(MTS)	+	+	+

Κατανόηση φαινομένων



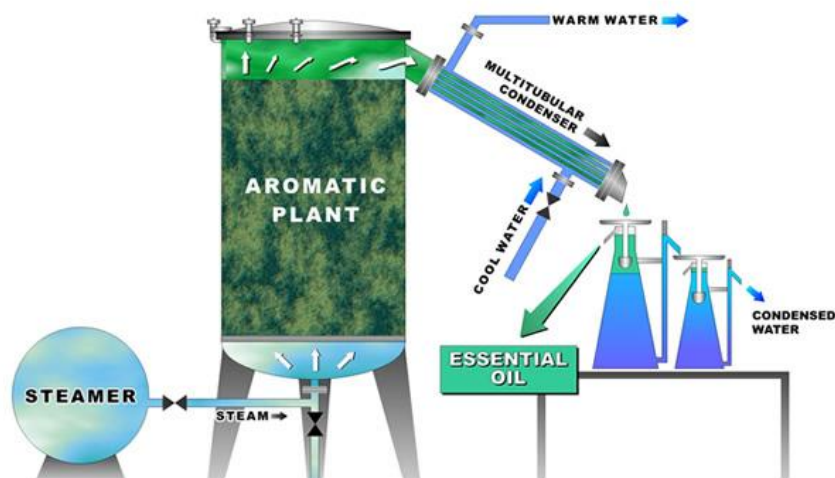
Εκχύλιση προϊόντων διατροφής

- Χρόνος εκχύλισης: ώρες ή ημέρες
- Υψηλό ενεργειακό κόστος
- Εκχύλιση σε παρτίδες (Extraction by batch) – όχι συνεχής
- Προβλήματα υποβάθμισης ποιότητας
- Μη χρήση οργανικών διαλυτών – Πράσινη χημεία (Green chemistry)
- Μείωση αποβλήτων : στερεά και υγρά
- Ανάγκη νέων προϊόντων

Απαιτήσεις βιομηχανίας: ταχύτητα, ψυχρή εκχύλιση, χωρίς διαλύτες, συνεχής λειτουργία, και ανταγωνιστικότητα στην τιμή και την ποιότητα.

Ανάμειξη βρώσιμου ελαιόλαδου με αιθέρια έλαια από αρωματικά βότανα μέσω υπερήχων

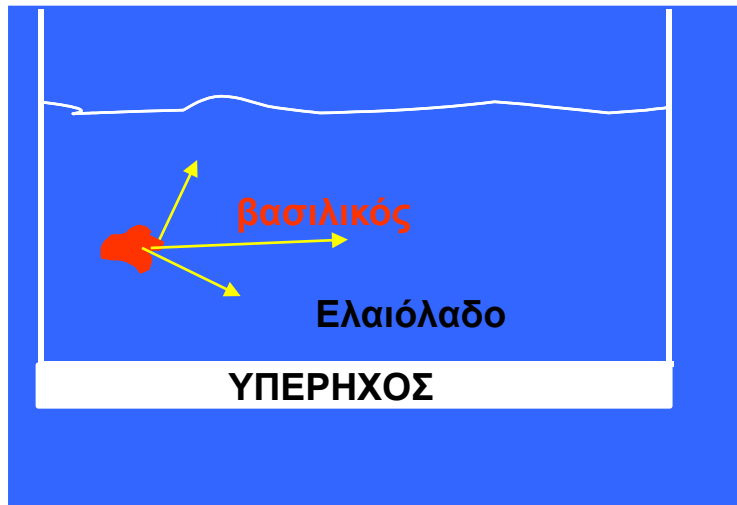
Απόσταξη ατμού



Ανάμειξη αιθέριου ελαίου με ελαιόλαδο

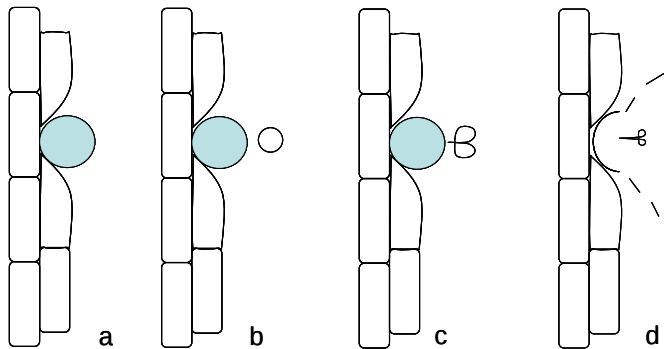
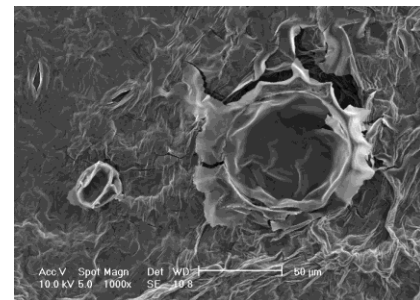
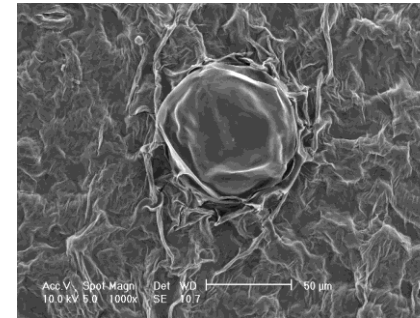
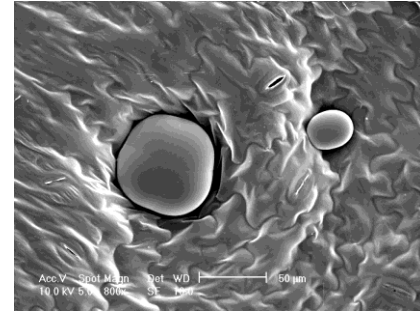


Αρωματισμός ελαιολάδου με υπερήχους



Βασιλικός σε
ελαιόλαδο

Συμβατική
εξαγωγή



Εξαγωγή με υπερήχους

Αρωματισμός ελαιολάδου με υπερήχους



Ελαιόλαδο + Σκόρδο και
θυμάρι

30 euros/L



Ελαιόλαδο + Βασιλικός
25 euros/L



Ελαιόλαδο + Καφές
25 euros/L

Ελαιόλαδο : 2 – 3 euros / litre
Αρωματισμένο ελαιόλαδο: 20 – 30 euros /litre

Συμπεράσματα : Υπέρηχοι στην Τεχνολογία Τροφίμων

- 50-60's: Αποδοτικότητα
- 70-80's: Ποιότητα
- 80-90's: Ευελιξία
- 2000- : Καινοτομία

