التجفيف Drying

التجفيف هو تخليص المادة غير الطيارة من مادة طيارة مرافقة

التجفيف هي عملية هامة من بين العمليات الصيدلانية التي عادة ما تكون المرحلة الأخيرة من مراحل التصنيع قبل عمليات الصر والتعبئة ،

وهي عملية هامة من حيث كون الرطوبة الباقية المحددة و المنخفضة بكفاية تمنع التخرب التدريجي للمنتجات وتحقق صفات الانسياب الحر للمواد المجففة .

وكي يفهم الطالب هذه العملية يجب توضيح المصطلحات التالية :

محتوى الرطوبة

توازن محتوى الرطوبة

الرطوبة النسبية

محتوى الرطوبة Moisture content

يعبر عن محتوى رطوبة المواد الصلبة بعدد كيلوغرامات الرطوبة المرافقة لواحد كغ من المادة الصلبة المجففة ويعبر عنها بالنسب المئوية

محتوى الرطوبة المتوازن Equilibrium moisture content

قد لا تؤدي عملية التجفيف الى تطاير كامل الرطوبة الموجودة في المادة ، كما يمكن أن تحصل المادة مرة أخرى على الماء من الوسط المحيط عند تعرضها للهواء .

ان محتوى الرطوبة هنا يسمى محتوى الرطوبة المتوازن تحت الشروط المحيطة وهذا قابل للتغير عند تبدل تلك الشروط.

ان الجزء المحتبس داخل خلايا المادة الخام أو المدمص على سطحها يعيقها من اظهار ضغط بخارها الكامل ، و يطلق عليها اسم الرطوبة الحبيسة أو المرتبطة وهي أصعب تطايرا من الرطوبة غير المرتبطة التي تبدي ضغط البخار الكامل للمادة .

الرطوبة النسبية للهواء

Relative humidity (RH) of air

ان الهواء في درجة حرارة محددة قابل أن يحمل بخار الماء حتى درجة الاشباع (عندها الرطوبة النسبية هي ١٠٠ %) .

اذا ارتفعت درجة الحرارة يمكن للهواء أن يحمل بخار ماء (رطوبة) أكثر (نظرا لتمدد حجم الهواء)

وبالتالي تنقص الرطوبة المحمولة عن حد الاشباع وتنخفض الرطوبة النسبية

يجب أن نلاحظ أنه عند التجفيف بالحرارة المحمولة حيث يمرر الهواء الساخن فوق سطح المادة الصلبة الرطبة فان الرطوبة النسبية سترتفع بسبب عاملين منفصلين هما :

*برودة الهواء باعتباره مصدر اعطاء الحرارة (ممول) للمادة الصلبة الرطبة

* تطاير بخار الماء من المادة الصلبة الرطبة .

الرطوبة المطلقة والرطوبة النسبية
Absolute humidity and Relative humidity

يجب أن نميز بين الرطوبة النسبية للجو وبين الرطوبة المطلقة في الهواء التي هي كمية الماء المقدرة بالكغ المحمولة في كل كغ من الهواء .

وهي لا تتبدل مع تغير الحرارة الا اذا سحبت هذه الرطوبة بواسطة الهواء.

الرطوبة المطلقة هي كمية بخار الماء المحمولة في وحدة الحجم أو وحدة الوزن في الهواء الرطب.

الرطوبة النسبية
Relative humidity

تعرف الرطوبة النسبية أيضا أنها النسبة المئوية الناتجة عن قسمة ضغط بخار الماء (الفعلي) المسجل على ضغط بخار الماء الاشباعي بنفس الدرجة من الحرارة .

وبذلك نحصل على النسبة المئوية للرطوبة النسبية .

$$\frac{\text{Actual Vapor pressure}}{\text{Saturated Vapor pressure (at the same temperature)}} \times 100$$

تغيرات ضغط بخار الماء مع درجات الحرارة

ملم زئبقي

T	P H_2O	T	P H_2O	T	P H_2O	T	P H_2O
15	12.7	20	17.5	25	23.8	30	31.8
16	13.6	21	18.7	26	25.2	31	33.7
17	14.5	22	19.8	27	26.7	32	35.7
18	15.5	23	21.1	28	28.3	33	37.7
19	16.5	24	22.4	29	30.0	34	39.9

العوامل المؤثرة في سرعة التجفيف

سرعة تطاير الماء من الطبقات السطحية للمادة

سرعة نزوح الماء من الطبقات العميقة للمادة الى السطحية

سرعة تجديد الهواء فوق المادة

الضغط الجوي

الرطوبة النسبية في الجو فوق المادة

مقدار الحرارة المصروفة على التجفيف

مساحة سطح تماس المادة مع الوسط الخارجي

زمن التجفيف

اختيار طريقة التجفيف

يجري انتخاب الطريقة المناسبة لإجراء عملية التجفيف اعتمادا على أمور عديدة أهمها:

*** حساسية المواد المراد تجفيفها تجاه الحرارة وتجاه أوكسجين الهواء،**

*** الخصائص الفيزيائية للمواد المراد تجفيفها،**

*** درجة التجفيف التي يرغب في الحصول عليها**

*** كمية المادة الواجب تجفيفها.**

الطرق والتجهيزات المستخدمة في عمليات التجفيف

فرن الرفوف Tray drier

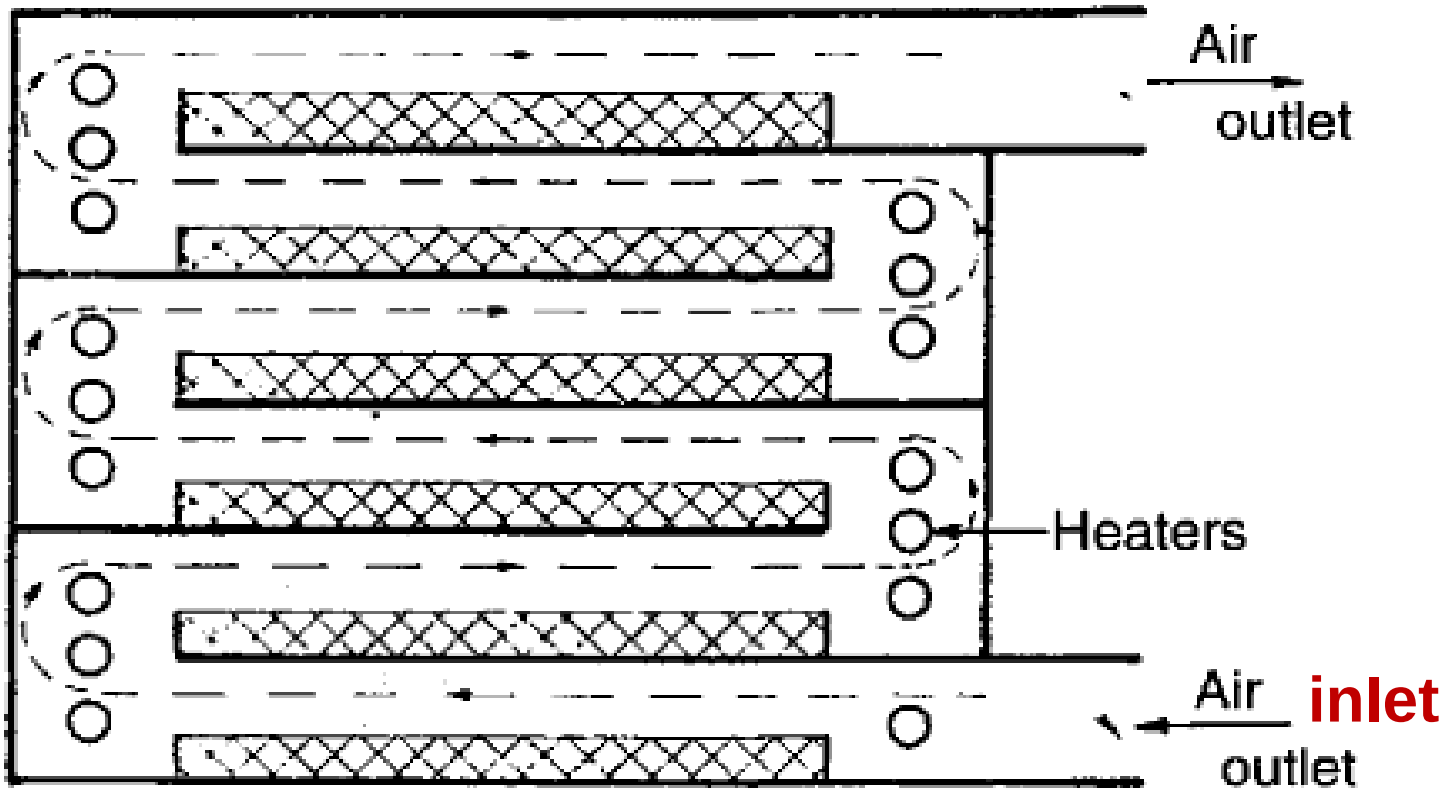
تجرى عملية تجفيف الحثيرات عادة على صفائح من الورق موضوعة على ألواح وتفرش بشكل طبقة رقيقة تسمح لكل الكتلة أن تجف .

(المواد في الفرن ثابتة)

ويجري التجفيف على الهواء مباشرة بحرارة الغرفة بالنسبة إلى بعض المواد مثل صفصفات الفنيل وهيدرات التربين

أو في أفران ومحمات للتجفيف بحرارة 30 – 40 م°

حيث توزع المادة المراد تجفيفها على الرفوف الموجودة فيها لتكون بتماس مع الهواء الساخن الذي يجري داخل هذه المحمات .



Directed-circulation tray drier.

فرن الرفوف Tray drier

إن الطريقة المفضلة للتجفيف عادة هي بالهواء الساخن والدوار

الذي يدخل من أعلى فرن التجفيف عادة

طارداً أمامه الهواء البارد

وأثناء مروره على الرفوف الحاوية على ألواح الحثيرات

فإن الهواء يسخن بواسطة وشائع جانبية موجودة على طول المحم

ويحمل هذا الهواء معه الرطوبة ويخرج من أسفل فرن التجفيف.

ويفضل في كثير من الأحيان أن تترك الألواح التي فرشت عليها الحثيرات لفترة من الزمن خارج الأفران ثم تدخل لتجفف حتى الدرجة المطلوبة.

التجفيف بوجود مواد جاذبة للرطوبة

يمكن أن يجرى التجفيف كذلك في دارة مغلقة بواسطة عمود من السيليكاجل
أو أية مادة جاذبة للرطوبة
بإمرار الهواء أوالغاز الخالي من الأكسجين على الحثيرات في حجرة التجفيف
ومن ثم يمرر هذا الهواء الذي يحمل الرطوبة من الحثيرات على عمود من السيليكاجل في الحجرة الثانية فيجف ويتخلص من الرطوبة
ومن ثم يمرر هذا الغاز مرة أخرى فوق الحثيرات
ومع تدوير الهواء أو الغاز داخل هذه الدارة تجري عملية التجفيف حتى الدرجة المطلوبة.

* يمرر الهواء عندما تكون المواد حساسة للحرارة

*يمرر الغاز الخامل عندما تكون المواد حساسة للحرارة وأكسجين الهواء

تجفيف الحثيرات بالأشعة تحت الحمراء

يمكن استخدام القدرة الحرورية المتولدة عن
الأشعة تحت الحمراء في عملية التجفيف

حيث يمكن الحصول على الأشعة تحت الحمراء باستعمال مصابيح خاصة توجه أشعتها نحو المادة المراد تجفيفها، والموضوعة بشكل طبقات رقيقة على بعد (٣٠) سم تقريباً من المصابيح..

وبما أن القدرة الحرورية الناتجة عن هذه الأشعة تتولد من جراء تماسها مع المادة، فهي تعمل على تسخين كامل كتلة المادة المراد تجفيفها مما يساعد على تسريع عملية التجفيف

و يمكن استخدام هذه الأشعة في أجهزة التجفيف ذات العمل المستمرأو أجهزة التجفيف ذات العمل المتقطع .

التجفيف بالتبعثر أو بالارذاذ Spray Drying

تتلخص هذه الطريقة ببعثرة المحلول المراد تجفيفه إلى قطيرات صغيرة جداً
في تيار من الهواء الحار الذي يحول القطيرات مباشرة إلى مسحوق،
شرط ألا تؤدي الحرارة المستخدمة إلى انصهار أجزاء المسحوق الناتج.

تعود السرعة الكبيرة في التجفيف (جزء من ثانية) إلى سعة سطح التماس بين القطيرات المبعثرة والهواء من جهة، وإلى حرارة الهواء المرتفعة (150°–200°) من جهة أخرى.

والتي يمكن أن تؤثر في خصائص المسحوق الناتج بسبب حرارة تيار الهواء،
على الرغم من الحرارة المرتفعة المستخدمة في التجفيف،
فهي لا تؤثر على المواد الحساسة للحرارة
نظراً لقصر الفترة التي تتعرض فيها هذه المواد للحرارة
حتى إن حوادث التأكسد تكون قليلة جداً.

مع ذلك من الممكن، في بعض الحالات الخاصة، تجنب كل تغير ناتج عن التأكسد
باستعمال تيار من غاز خامل عوضاً عن تيار الهواء.

التجفيف بالتبعثر أو بالارذاذ Spray Drying

تتأثر نوعية المساحيق الناتجة بهذه الطريقة بشروط العمل المطبقة خلال عملية التجفيف:

فكلما كانت القطيرات الناتجة عن البعثرة صغيرة،

كلما كان المسحوق الناتج أكثر نعومة.

وكلما كان المحلول المراد تجفيفه أقل تمديداً،

كلما كانت قيمة الحجم النوعي الظاهري للمسحوق مرتفعة.

إن إضافة خافضات التوتر السطحي إلى المحلول بعطي مسحوق أكثر نعومة، لأن إضافة هذه المواد تؤثر على أبعاد القطيرات الناتجة عن التبعثر، فهي تعطي قطيرات أكثر نعومة

بسبب خفضها للتوتر السطحي للمحلول.

التجفيف بالتبعثر أو بالارذاذ Spray Drying

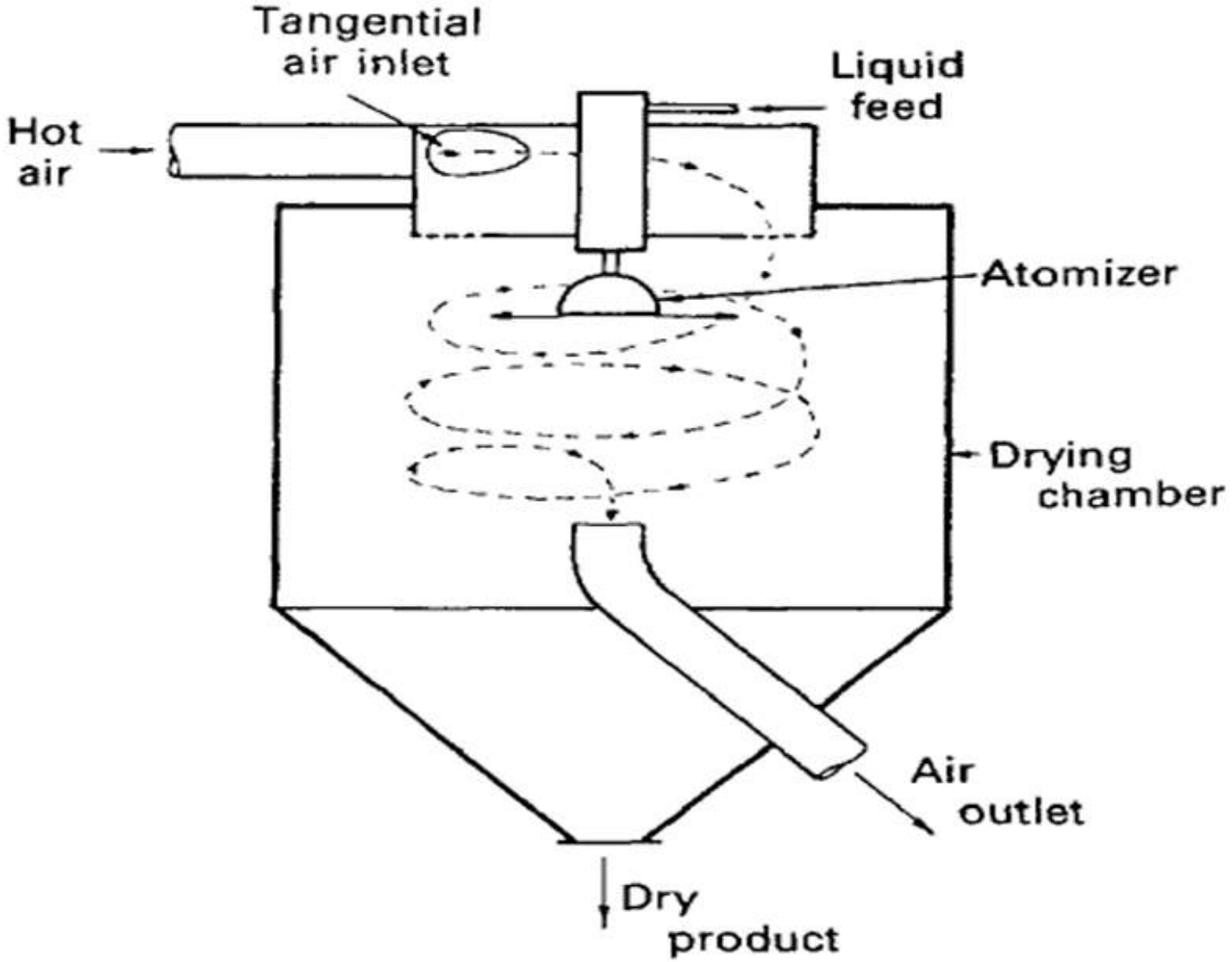
تتكون أجهزة التجفيف بالتبعثر بشكل أساسي من جهاز لبعثرة السائل، ومن غرفة أو جوف لتحقيق التجفيف، مع تيار من الهواء الحار.

أكثر أنماط أجهزة البعثرة استعمالاً هو النمط الدوار،

حيث تتراوح سرعة دورانه بين (٥٠٠٠ و٢٠٠٠٠) دورة/ دقيقة.

أما غرف التجفيف فتكون بأشكال مختلفة

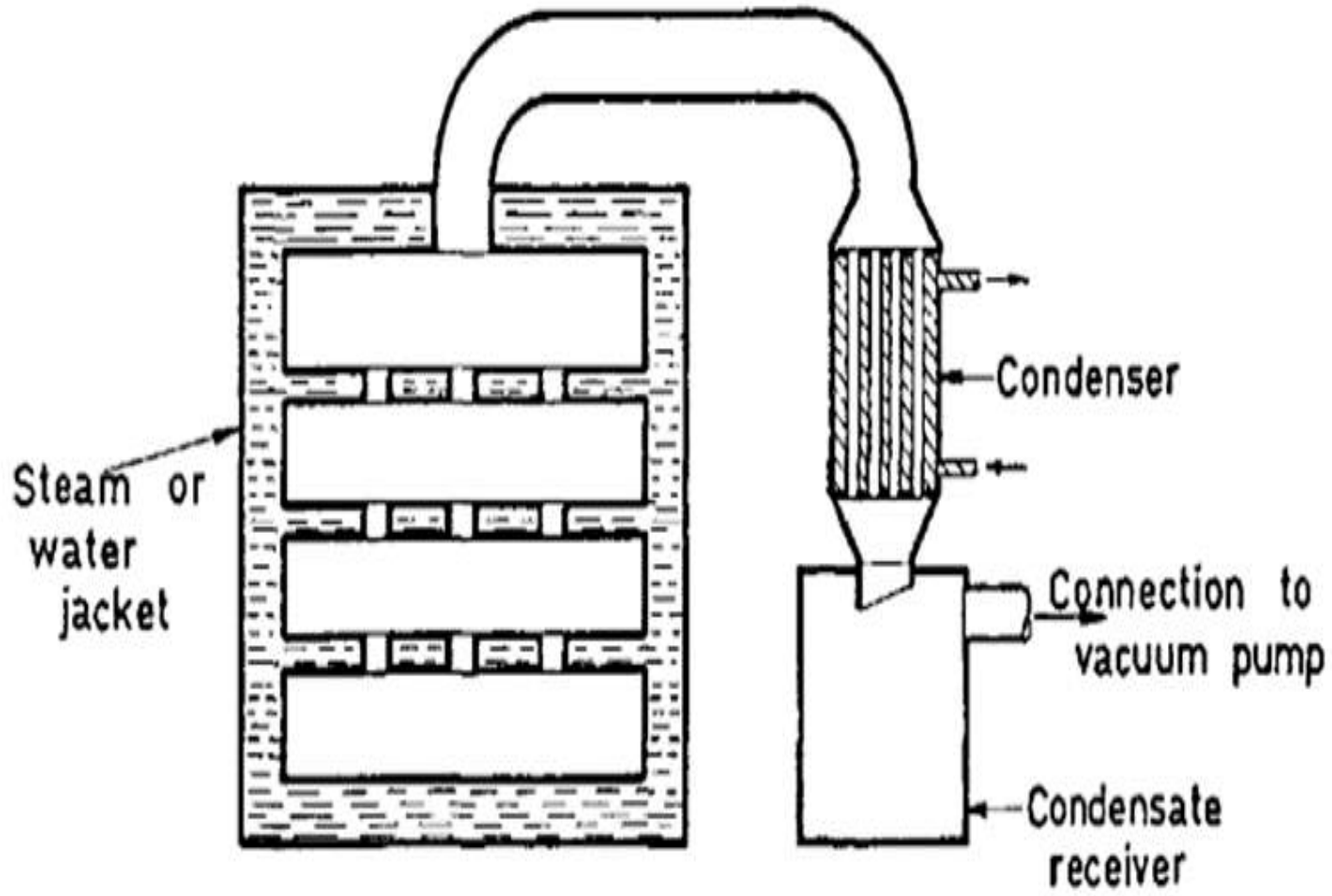
كأن تكون بشكل أسطواني أو مخروطي


Tangential
air inlet
Liquid
feed
Hot
air
Atomizer
Drying
chamber
Air
outlet
Dry
product

Spray drier.

التجفيف تحت ضغط منخفض

تجرى عملية التجفيف، بالنسبة إلى المواد التي تتخرب بالحرارة
و بتماس الهواء، بوجود ضغط منخفض.
إذ إن انخفاض الضغط يسمح بإجراء عملية التجفيف في درجات حرارة منخفضة،
مما يحفظ المادة المجففة من التخرب.
تتألف أجهزة التجفيف تحت ضغط منخفض من خزانة ذات رفوف،
توضع عليها المادة المراد تجفيفها بشكل طبقات رقيقة،
حيث تسخن هذه الرفوف إلى درجة الحرارة المرغوبة بوسائل مختلفة،
وتتصل الخزانة بمكثف، لإزالة الأبخرة الناتجة،
وبمضخة تخلية لتحقيق الضغط المنخفض المطلوب.



Vacuum oven (schematic).

التجفيف بالتعليق في تيار من الهواء الحار
(التجفيف بالسرير الهوائي)
Fluidized bed drier (FBD)

انتشرت كذلك طرائق التجفيف بتعليق الحثيرات في تيار من الهواء الساخن

في أجهزة تحوي على أكياس أو أكمام مجهزة بقاعدتها بمناخل

لا تسمح للحثيرات بالنزول من هذه الأكمام

إذ تكون هذه المواد موجودة في وعاء مخروطي ذي قعر مثقب أو مسامي

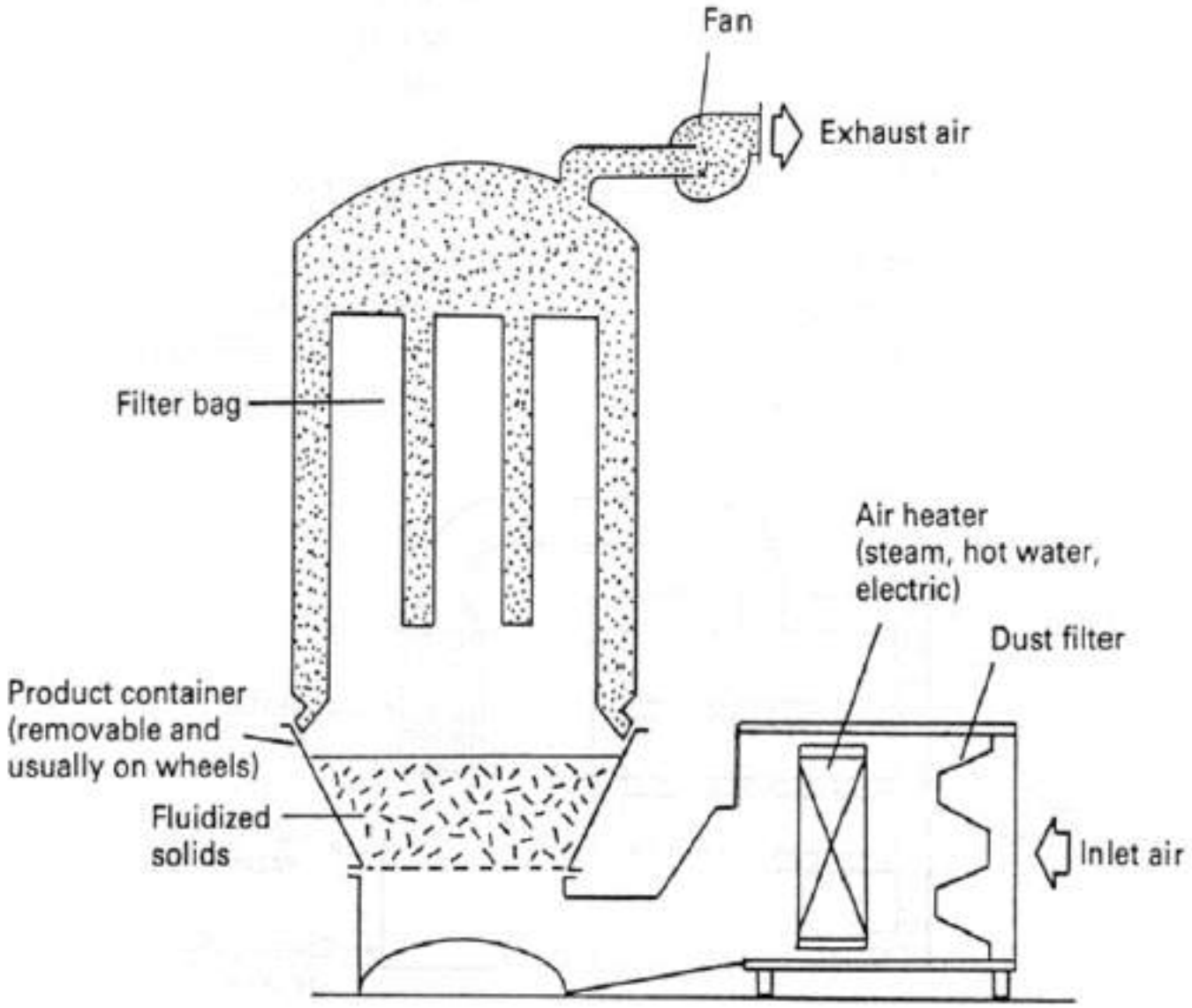
يجتازه تيار من الهواء الحار من الأسفل إلى الأعلى،

من خلال المواد الرطبة الموضوعة للتجفيف،

فيكون بتماس مباشر مع كل سطوحها تقريباً

حيث تدخل الحثيرات إلى داخل الأكمام وتعلق بواسطة تيار الهواء الساخن

وتبقى سابحة في الأكمام مما يؤدي إلى تجفيفها السريع ..


Fan
Exhaust air
Filter bag
Air heater
(steam, hot water,
electric)
Dust filter
Product container
(removable and
usually on wheels)
Fluidized
solids
Inlet air

ان الهواء الساخن يدخل من أسفل القاعدة المنخلية ويحمل معه الحشيرات إلى الأكمام ويخرج من فتحات خاصة في أعلى الجهاز الذي يمكن أن يعطينا الحرارة المطلوبة لإعطاء الرطوبة الفضلى خلال زمن خاص بكل نوع من الحشيرات. .

التحثير بالتعليق في تيار من الهواء الحار
(التحثير بالسرير الهوائي)
Fluidized bed Granulator (FBG)

تجري هذه العملية بنفس طرائق التجفيف بتعليق الحثيرات في تيار من الهواء الساخن وفي أجهزة تحوي على أكياس أو أكمام مجهزة بقاعدتها بمناخل لا تسمح للحثيرات الناتجة بالنزول من هذه الأكمام ،

توضع المساحيق المراد تحثيرها في وعاء مخروطي ذي قعر مثقب أو مسامي يجتازه تيار من الهواء الحار من الأسفل إلى الأعلى، من خلال مزيج المساحيق ،

تزود هذه الأجهزة بوسائل تسمح برذ سائل التحثير فوق المساحيق المعلقة بالهواء ،

.

التحثير بالتعليق في تيار من الهواء الحار
(التحثير بالسرير الهوائي)
Fluidized bed Granulator (FBG)

تجري عملية الارذاذ من الأعلى أو من الجانب داخل جهاز التحثير فتصطدم المساحيق بالسائل وتترطب وتتجمع على بعضها

مشكلة حثيرات يختلف حجمها حسب سرعة تدفق الهواء المضغوط ودرجة حرارته وحسب أبعاد قطيرات الرذاذ

المرتبطة بمقدار ضغط البعثرة للسائل وطبيعته .

ان الحثيرات المتشكلة تنفصل عن المساحيق ذات الأبعاد الأصغر وتتجمع أسفل الوعاء المخروطي ويستمر تشكيل الحثيرات من مزيج المساحيق وتستمر عملية تجفيف الحثيرات المتشكلة كما هي الحال بطريقة التجفيف بالتعليق بالسرير الهوائي .

Freeze Drying التجفيف بالتجميد
Lyophilisation

التجفيف بالتجميد Freeze Drying
Lyophilisation

التجفيف بالتجميد هو عبارة عن طريقة تجفيف تقوم على تصعيد جليد المحاليل أو الأنسجة الحيوانية والنباتية، التي تجعل مسبقاً بحالة متجمدة

التجفيف بالتجميد هو عبارة عن «تجفيف بالتصعيد»

أي إن ماء المادة المراد تجفيفها يحول مسبقاً إلى جليد

ثم يبخر هذا الجليد مباشرة دون المرور بالحالة السائلة

الشروط المطبقة في هذه العملية:

درجة الحرارة المنخفضة

الضغط المنخفض

عدم المرور بالحالة السائلة

التجفيف بالتجميد Freeze Drying
Lyophilisation

إن الشروط المطبقة في هذه العملية، من حيث درجة الحرارة المنخفضة، والضغط المنخفض وعدم المرور بالحالة السائلة ، تقلل التماس مع الهواء ،

وتزيل إلى حد كبير جداً عوامل التخرب والفساد التي يمكن أن تؤثر،

بدرجات مختلفة، على المواد الخاضعة للتجفيف بطرائق أخرى

مثل تأثير الخمائر أو الاماهة أو الأكسدة وغيرها.

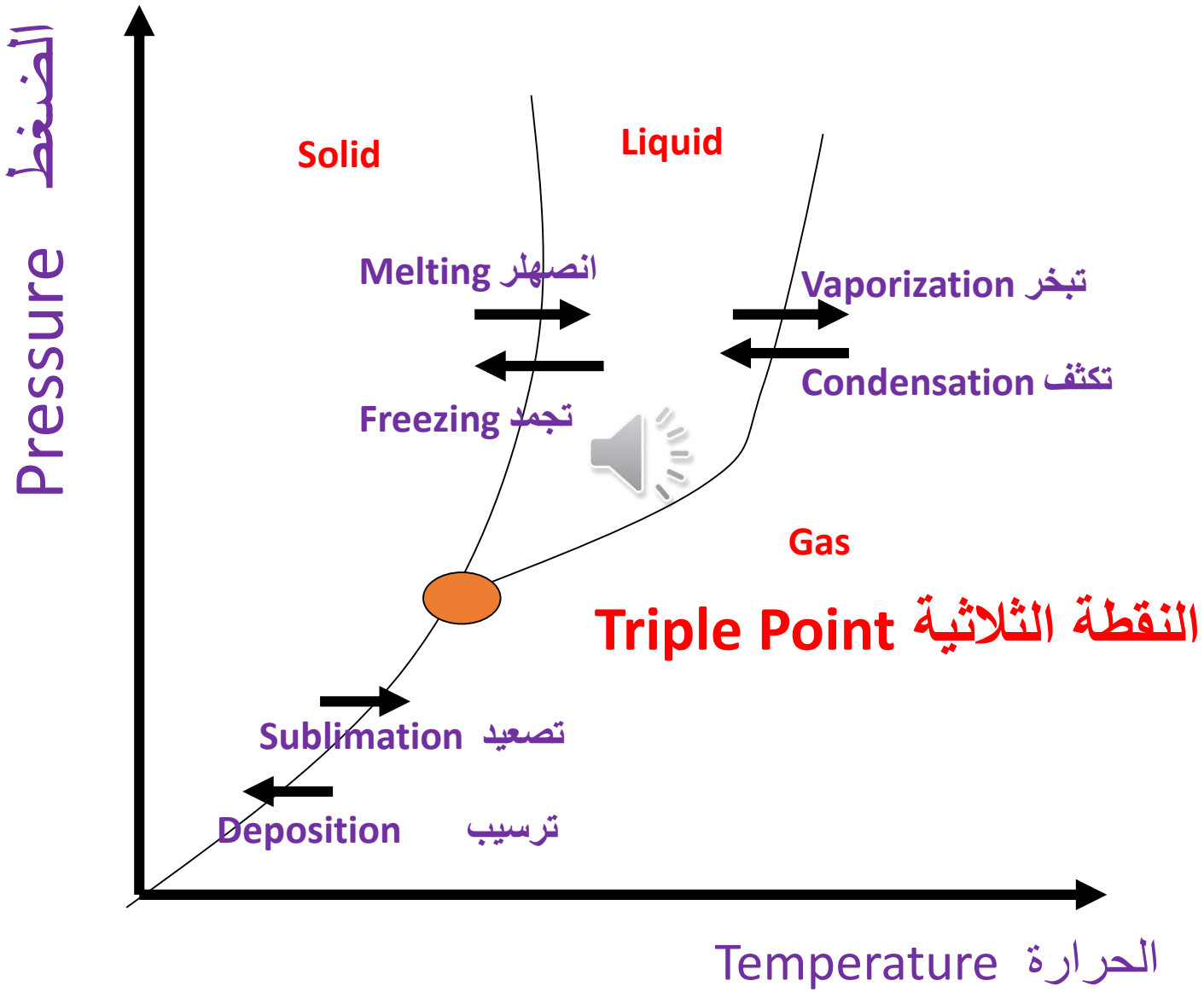
كما يمكن أن يعد التجفيف بالتجميد وسيلة تثبيت وحفظ للأجسام

أو الأمزجة شديدة الحساسية، وللمحضرات العقيمة، والمركبات الحيوية، ...

التجفيف بالتجميد Freeze Drying
Lyophilisation

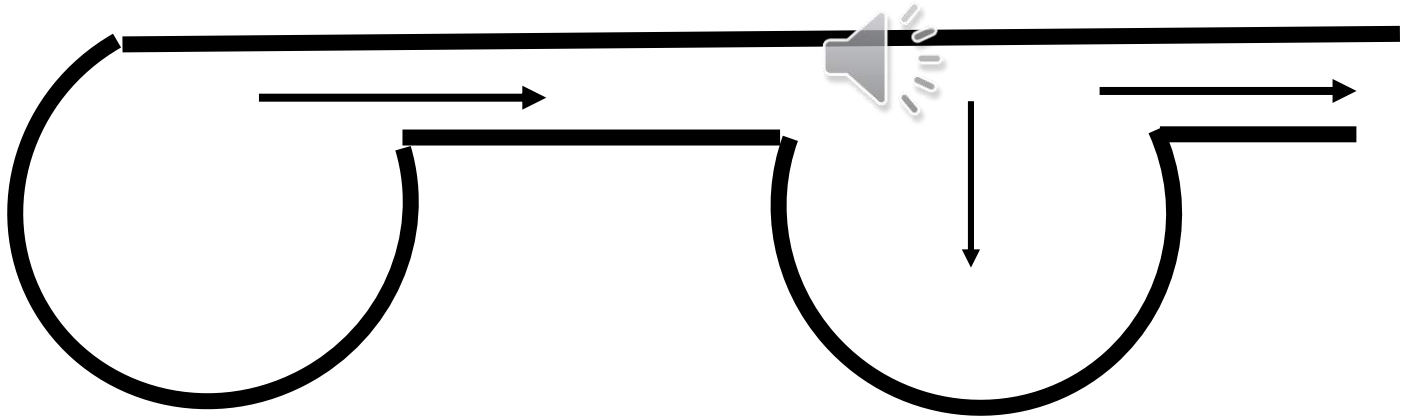
ان المحاليل الخاضعة الى عملية التجفيد بعد التخلص من المذيب ستترك نفس الحجم من المادة الجافة الناتجة التي تكون ذات بنية مسامية و هشة، ذات قدرة كبيرة على امتصاص الماء مما يسمح بإعادة تكوين محلولها الأساسي بسرعة وبشكل كامل

يمكن توضيح هذه العملية بالشكل الآتي:


Pressure الضغط
Solid
Liquid
Melting انصهار
Freezing تجمد
Vaporization تبخر
Condensation تكثف
Gas
Triple Point النقطة الثلاثية
Sublimation تصعيد
Deposition ترسيب
Temperature الحرارة

ليكن لدينا وعاءان (A) و(B) يتصلان ببعضهما بأنبوب عريض، ويتصل كلاهما بجهاز التخلية.

توضع المادة المراد تجفيفها في الوعاء (A) الذي يبرد وبسرعة إلى درجة منخفضة من الحرارة (Ta) بحيث تتجمد المادة في أقصر وقت ممكن.
يبرد الوعاء (B) أيضاً إلى درجة من الحرارة (Tb) منخفضة جداً من درجة حرارة الوعاء (A).



المخلية
Vacuum

المبرد (A)
Freezer

المكثف (B)
Condenser

التجفيف بالتجميد Freeze Drying
Lyophilisation

على هذا، يحدث في الوعاء (A) عملية تصعيد للجليد،
وتتسرع هذه العملية كلما أزيل البخار المتشكل،
لذلك فهذا الوعاء يسمى المبخر Evaporator.
أما الوعاء (B) فيعمل على تكثيف البخار، المتشكل في (A)، إلى جليد.
لهذا فهو يسمى المكثف Condenser.

التجفيف بالتجميد Freeze Drying
Lyophilisation

إن تصعد الجليد إلى بخار في الوعاء (A) يسبب برودة هذا الوعاء، مما يبطئ من عملية التصعيد.

و حتى تستمر عملية التصعيد بشكل مناسب،

يجب صرف القدرة الحرورية الكافية لتسخين الوعاء (A) دون أن تؤدي إلى تمييع المادة،

فتنظيم التسخين يجب أن يكون بالشكل الذي يحقق توازناً

بين القدرة المصروفة وبين القدرة الممتصة لتحقيق عملية التصعيد،

في الوقت الذي تبقى فيه المادة بحالة متجمدة

(إن الانتقال من حالة الجليد إلى حالة البخار يتطلب ٦٥٠ حريرة/ غرام).

تطبيقات عملية التجفيف بالتجميد Freeze Drying Lyophilisation

حفظ المواد الدوائية الحساسة ذات المنشأ الحيوي بشكل خاص:

البلاسما البشرية، حليب المرأة، المصول، مضادات حيوية، عصارات الفواكه، ...

حفظ الأنسجة الحية البشرية والحيوانية:

عظام، قطع جلدية، قرنية، شرايين، ...

حفظ المادة الحية:

جراثيم، حمات راشحة.

إن إجراء التجمد السريع جداً للمواد المراد تجفيفها، والضغط المنخفض جداً الذي تجري فيه العملية، وعدم المرور بالحالة السائلة،

تعمل على تثبيت المادة قبل أن تحدث تغيرات في بنيتها،

فالنمو الجرثومي والتفاعلات الخمائرية لا تعود ممكنة

تطبيقات عملية التجفيف بالتجميد في الصيدلة

تأمين حفظ المواد التي لا تكون ثابتة بشكل محاليل.

تجفيف المواد ذات درجات الانصهار المنخفضة جداً دون أن يؤدي ذلك إلى انصهارها.

الحصول على مادة ذات بنية مسامية سهلة الانحلال.

تسهيل الحصول على مواد ناعمة عقيمة دون تخرب تلك المواد.

إذ من غير الممكن أحياناً تعقيم مادة صلبة بواسطة الحرارة، كما أن طرائق التعقيم الأخرى قد لا تكون دون محاذير، لذلك تجعل هذه المواد بشكل محلول يعقم بالطريقة المناسبة (بطريقة الترشيح العقيم مثلاً).

ثم يجفف المحلول المعقم بطريقة التجفيف بالتجميد التي يمكن أن تتم بصورة عقيمة.

توزع مقادير قليلة جداً من مادة صلبة.

إذ من المعروف أن توزيع مقادير زهيدة بصورة دقيقة، يكون أسهل بكثير وأكثر دقة عندما تكون المادة بشكل محلول من أن تكون بالحالة الصلبة.

لهذا تحل المادة المراد توزيعها، ثم يوزع المحلول بالمقادير المطلوبة في زجاجات صغيرة حيث تجرى عليها عملية التجفيف بالتجميد.