

دراسة امتزاز كلور الزئبق hgcl₂ على بعض المعادن المحمولة على السيراميك المسامي

الدكتور نبيل الباتي*

(قبل للنشر في 1997/11/5)

□ الملخص □

بما أن الزئبق لا يتواجد فقط كعنصر حر بين الغازات المنطلقة من حرق النفايات بل أيضاً بشكل كلور الزئبق $HgCl_2$ ، لذلك درس في هذا البحث امتزاز كلور الزئبق المتصعد على بعض المعادن كالفضة والنحاس والتوتياء المحمولة على السيراميك المسامي. تدل نتائج هذا البحث على أن هذه الطريقة قد تكون فعالة لإبعاد كلور الزئبق عن التيار الغازي المنطلق من معامل حرق النفايات. وللحصول على معلومات دقيقة حول العمليات الجارية على سطوح هذه المعادن أجريت قياسات لانعراج أشعة رونتجن على رقائق منها بعد أن عرضت لجو من كلور الزئبق حيث تبين من ذلك أن الذهب غير صالح لإرجاع كلور الزئبق وبالتالي لم تجر عليه تجارب امتزاز كلور الزئبق بينما على العكس من ذلك يحدث على سطوح صفائح كل من الفضة والنحاس والتوتياء امتزاز وإرجاع كلور الزئبق ويشكل كل من الفضة والتوتياء فقط ملغمة مع الزئبق الناتج عن الإرجاع.

Study of mercuric chloride ($HgCl_2$) adsorption on some metals deposited on porous ceramic

Dr.Nabil Albani*

(Accepted 5/11/1997)

□ ABSTRACT □

Owing to the fact, that mercury exists in flue gases of incinerators in both, elementary form as well as mercuric chloride, the adsorption of gaseous mercuric chloride on copper, silver and zinc deposited on porous ceramics has been investigated.

The results seem to indicate that this method may be effective in removing mercuric chloride from flue gases.

In order to obtain accurate information about the processes which take place on the surfaces of these metals, the diffraction of X - rays on these metal plates was measured, after they have been exposed to the atmosphere of mercuric chloride.

It was indicated that gold is not suitable for the adsorption of mercuric chloride, therefore the experiments of mercuric chloride adsorption on it, were not performed, while chemisorption and reduction of mercuric chloride take place on the silver, copper, and zinc plates surfaces.

Only silver and zinc form amalgams with mercury obtained by reduction.

*prof at faculty of sciences – tishreen university – lattakia- Syria.

يعتبر الزئبق عنصراً نادراً يوجد على سطح الأرض، حيث يشكل فقط $5 \cdot 10^{-5}$ % من بنية القشرة الأرضية. بالرغم من ذلك ينتمي الزئبق كالذهب والفضة والنحاس والرصاص إلى المعادن التي استخرجت وصنعت في العصور القديمة منذ 315 عام قبل الميلاد [1]. إن كميات الزئبق التي تنطلق إلى الغلاف الجوي بسبب الظواهر الطبيعية كالبراكين وعوامل التعرية تبلغ تقريباً (50000 - 180000) طنناً في السنة وهي تشكل خطراً لا يستهان به على البيئة، كما أن انطلاق الزئبق المفعل من قبل الإنسان إلى الغلاف الجوي ليس ضئيلاً ويساوي تقريباً ثلث كمية الانطلاق الكلية [1] فعند حرق المواد الأحفورية والنفايات المنزلية ينطلق الزئبق إلى جانب الغازات الضارة مثل SO_2 ، NO_x ، HCl والمواد العضوية الضارة المختلفة والمعادن الثقيلة مثل الكاديوم، الكروم، النيكل، والرصاص. ولكونه سهل التطاير ينطلق الزئبق مع الغازات الناتجة عن الحرق بينما تبقى - بشكل كامل - المعادن الثقيلة الأخرى في مخلفات النفايات المحروقة (الخبث)...

يتواجد الزئبق عند انطلاقه في هذه الحالة كعنصر حر أو بشكل كلور الزئبق $HgCl_2$ عند وجوده مع غاز كلور الهيدروجين [5 - 2]. وبما أن الزئبق ومركباته شديدة السمية للإنسان [6، 1]، فمن الضروري إبعادها عن الغازات التي تنطلق معها...

إن أهم الطرق المستخدمة لإبعاد الزئبق هي:

أ- امتزاز الزئبق باستخدام المصافي الفحمية المختلفة:

فعند استخدام الفحم البني أو فحم الكوك أو الفحم الفعال يمكن تحقيق امتزاز شبه كامل للزئبق على سطوحها. إلا أن هذا الامتزاز غير نوعي بسبب امتزاز SO_2 ، NO_x ، HCl وكثير من المركبات العضوية مثل الديوكسين والفوران أيضاً على سطوح هذه الفحم. إن هذا العيب في الانتقائية لا يمكن تلافيه تماماً حتى بعد تشريب الفحم المذكورة أعلاه بالكبريت أو باليود مثلاً [1]. كما أن عملية حرق المصافي الفحمية المستهلكة بغية التخلص منها تؤدي إلى عودة انطلاق الزئبق الذي يجب أن يخضع لعملية الامتزاز من جديد. وبهذه الطريقة تبقى مشكلة التخلص من الزئبق غير محلولة تماماً.

ب- طريقة أحواض الغسل [7]

وهي تعتمد على سهولة انحلال مركبات الزئبق الثنائي بالماء مما ينتج عنه سهولة إبعادها عن التيار الغازي وذلك بإمرار هذا الأخير على أحواض الغسل ومن أجل إبعاد أكبر كمية من

الزئبق عن التيار الغازي فمن الضروري أكسدته بمؤكسد شديد القوة. وهنا تظهر أيضاً مشكلة أخرى في الانتقائية لأن الغازات الحمضية تتحلل بسهولة بالماء وتبعد مع الزئبق عن التيار الغازي أثناء عملية الغسل.

ج- امتزاز الزئبق باستخدام مصافي السيلينيوم

ويتم في هذه الطريقة فصل الزئبق انتقائياً على الأجسام المشربة بالسيلينيوم بشكل سيلينيد الزئبق HgSe. ولكن بما أن الزئبق وسيلينيد الزئبق لهما أثر سام لذلك تشكل هذه الطريقة مشكلة تلوث إضافية على البيئة.

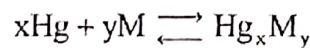
إن الطرق الثلاث المذكورة أعلاه لا تقدم حلاً كاملاً لمشكلة إبعاد الزئبق لأن مسألة تنقية التيار الغازي من الزئبق ومركباته تُحل على حساب تلوث مخلفات المياه وعلى حساب تلوث مخلفات المصافي (الخَبث)... [8]

وهنا تبرز أهمية الطريقة المتبعة في بحثنا هذا وهي:

د- امتزاز الزئبق بطريقة تشكيل ملغمة

وتتمثل هذه الطريقة الحل الأفضل لإبعاد الزئبق عن الغازات المنطلقة معه وتستند إلى خاصية يتمتع بها الزئبق بتشكيله وبسهولة ملغمة مع معادن مختلفة [9]. إن الاستفادة من هذه الخاصية تمكن من امتزاز انتقائي للزئبق على المعادن المحمولة بالإضافة إلى استعادة الزئبق بوساطة المَج الحراري [8].

ننتقل هنا من أن التفاعل الكيميائي الجاري على سطح الجسم الماز هو:



حيث: $\text{M} = \text{Au}, \text{Ag}, \text{Cu}, \text{Zn}, \dots$

إن عكسية هذا التفاعل تمكن من استعادة الزئبق الممتز بوساطة المَج الحراري.

2- هدف البحث

يهدف أيضاً هذا البحث إلى اختبار امتزاز كلور الزئبق HgCl_2 على سطوح معادن مختلفة محمولة على السيراميك المسامي ومن أجل دراسة التفاعل (كلور الزئبق/معدن) أجريت قياسات لانعراج أشعة رونتجن على رقائق من هذه المعادن بعد أن عرّضت لجو من كلور الزئبق المتصعد.

3- القسم التجريبي

3-1- وصف وتحضير الأجسام المازة

إن الأجسام المازة المستخدمة في التجارب هي عبارة عن رقائق لبعض المعادن المحمولة بالتشريب على السيراميك المسامي. وهذا الأخير عبارة عن حبيبات تركيبها Al_2O_3/SiO_2 اسطوانية الشكل من إنتاج شركة (IBS - هور - غرينتس هاوزن) في ألمانيا. يبين الجدول التالي الخواص الهامة التي تتمتع بها هذه الحبيبات:

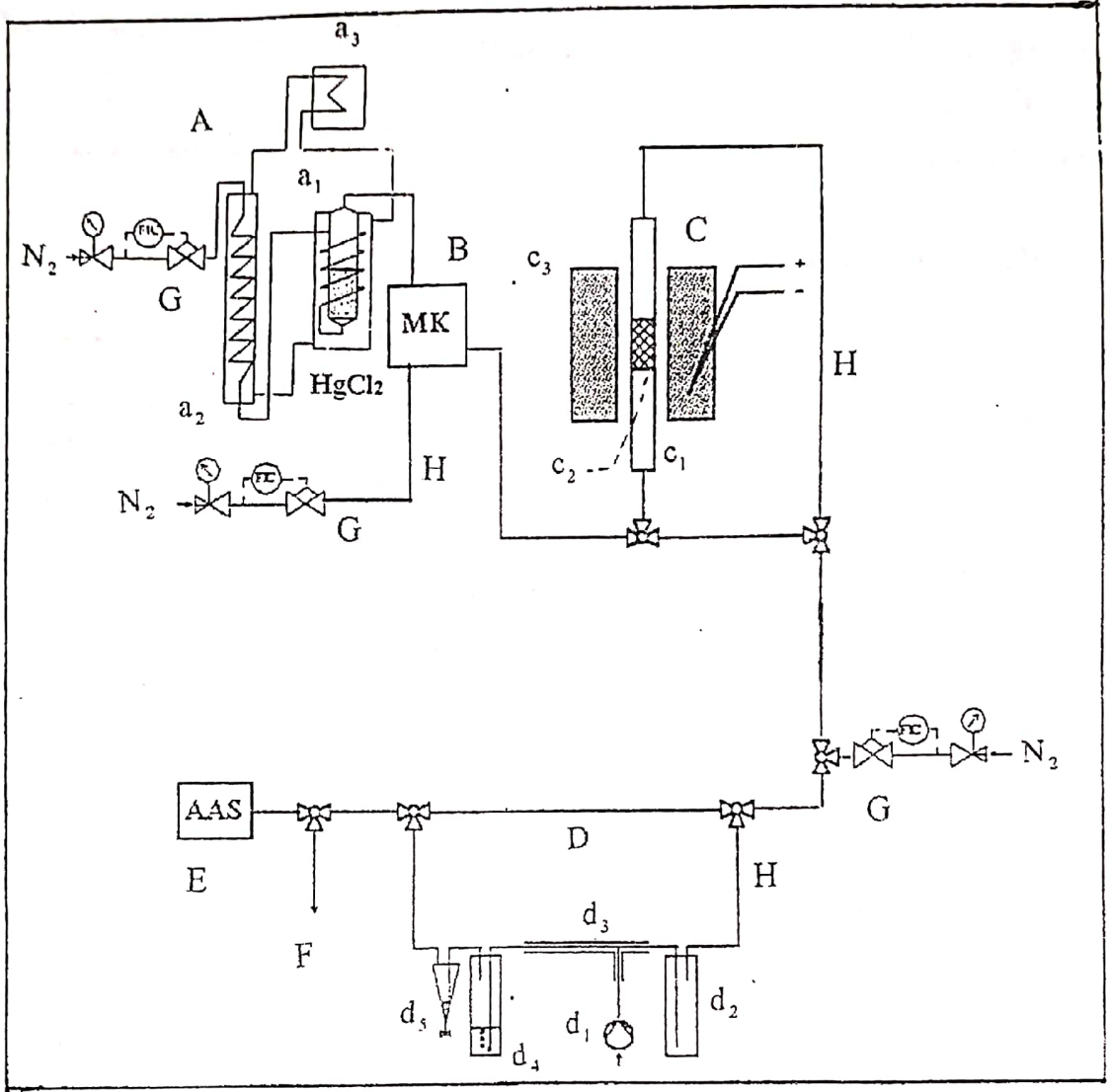
2-5 mm	طول الحبيبة
2 mm	قطر الحبيبة
5 nm	نصف القطر الوسطي للفتحة المسامية
150 m ² / g تقريباً	السطح النوعي
400 mm ³ / g تقريباً	الحجم المسامي الكلي

الجدول 1: الخواص الهامة لحبيبات السيراميك

نلاحظ من الجدول أن أهم ما يميز هذه الحبيبات هو صغر نصف القطر الوسطي للمسام وكبير سطحها النوعي وكبير حجمها المسامي الكلي. إن المعادن التي استخدمناها في دراستنا هي التي يحتمل أن تشكل ملغمة مع الزئبق وتتميز بهذه الخاصة بعض عناصر المجموعتين الثانويتين الأولى والثانية من الجدول الدوري وهي: النحاس، الفضة، الذهب، التوتياء، والكاديوم. حيث استبعد العنصر الأخير من التجارب بسبب سميته المرتفعة.

عند دراسة امتزاز كلور الزئبق يجب أن تلعب المعادن دور المرجع، لذلك أجريت تجارب استخدم فقط النحاس والفضة والتوتياء المحمولة على السيراميك بطريقة التشريب. تتم عملية التشريب وفق الخطوات التالية:

توضع حبيبات السيراميك لمدة ساعة واحدة في محلول نترات المعدن المختار للتجربة تركيزه 1 مول/ل. ثم ترشح وتجفف في المجفف عند الدرجة 40 °C وتترك بعد ذلك لمدة 8 ساعات في المجفف عند الدرجة 120 °C وذلك لتحقيق توزيع متجانس لنترات المعدن على سطوح الحبيبات وأخيراً ترجع شاردة المعدن الموجودة في ملح نترات المعدن بجو من غاز الهيدروجين لمدة نصف ساعة وعند الدرجة 500 °C. يبين الشكل (1) الجهاز المستخدم في التجربة.



- | | |
|-----------------|--|
| -A | وحدة تصعيد كلور الزئبق |
| -a ₁ | وعاء التصعيد |
| -a ₂ | مكثف يحوي زيت |
| -a ₃ | مثبت درجة الحرارة |
| -B | وحدة المزج |
| -C | وحدة الجسم الدامص |
| -c ₁ | مفاعل |
| -c ₂ | جسم دامص |
| -c ₃ | فرن |
| -D | وحدة إرجاع كلور الزئبق |
| -d ₁ | مضخة محلول كلور القصديري |
| -d ₂ | زجاجة أمان |
| -d ₃ | انبوب يتم فيه إرجاع كلور الزئبق بواسطة كلور القصديري |
| -d ₄ | زجاجة غسل |
| -d ₅ | قمع لفصل الفائض من محلول كلور القصديري |
| -E | وحدة مطياف الامتصاص الذري |
| -F | ساحبة دخان |
| -G | وحدة أجهزة تنظيم تدفق الغازات |
| -H | توصيلات نفلون |

الشكل 1: مخطط الجهاز المستخدم في تجارب امتزاز كلور الزئبق

3-2- سير التجربة

لتنفيذ تجارب الامتزاز تطلب ذلك تياراً من غاز الآزوت حاملاً لكمية محددة من كلور الزئبق بلغت $(500 - 550 \mu\text{g} / \text{m}^3)$ وهي الكمية المسموح انطلاقها من معامل حرق النفايات [1]. ولتحقيق هذا الأمر يمرر تيار غاز الآزوت على كمية من كلور الزئبق مصعدة ومبلورة حديثاً موجودة في وعاء التصعيد وهو عبارة عن حمام زيتي حرارته 45°C يتصل بمثبت درجة حرارة يحوي زيت حرارته أيضاً 45°C . بعد ذلك يرسل التيار الغازي المحمل بكلور الزئبق المصعد إلى زجاجة المزج ويمزج هناك مع تيار آخر من غاز الآزوت النقي ويمدد. وأخيراً يرسل التيار الغازي الكلي إلى وحدة الجسم الماز وهي عبارة عن مفاعل موضوع في فرن ويحوي كمية من حبيبات السيراميك المحملة بالمعادن. ولتحديد تركيز كلور الزئبق في التيار الغازي الكلي بواسطة مطياف الامتصاص الذري يجب إرجاعه أولاً إلى الزئبق الحر. ويتم ذلك في وحدة الإرجاع حيث يرجع فيها كلور الزئبق بواسطة تيار مستمر من محلول كلور القصديري الذي يفصل بعد ذلك عن التيار الغازي الكلي بقمع فصل مغمور بوعاء ديوار يحوي قطعاً من الثلج. بينما يتابع التيار الغازي هذا سيره إلى خلية مطياف الامتصاص الذري (AAS 1200) وتقاس فيه كمية الزئبق الناتج عن الإرجاع والمحمل على التيار الغازي الكلي بطريقة البخار البارد cold vapour method.

ومن الجدير ذكره هنا أنه يمكن التحكم بمرور التيار الغازي الكلي عبر المفاعل أو عدمه وذلك بواسطة صنوبر زجاجي ثلاثي الفروع، مما يسمح بتحديد تركيز HgCl_2 في التيار الغازي الكلي قبل دخوله المفاعل وبعد خروجه منه.

ويخلص الجدول التالي الشروط المطبقة في تجارب امتزاز كلور الزئبق:

$500 - 550 \mu\text{g} / \text{m}^3$	تركيز HgCl_2
$3.8 \ell / \text{min}$	سرعة التيار الغازي الكلي
$15000 \ell / \text{h}$	السرعة الحيزية للتيار الغازي الكلي (space velocity)
4 cm	ارتفاع مستوى كتلة الحبيبات في المفاعل
Cu, Ag, Zn	المعادن المشربة
45°C	درجة حرارة المثبت ووعاء التصعيد
50°C	درجة حرارة الحبيبات
75°C	درجة حرارة زجاجة المزج
24 h	مدة التجربة

الجدول 2: الشروط المطبقة في تجارب امتزاز كلور الزئبق

4- النتائج والمناقشة

4-1- دراسة امتزاز $HgCl_2$ على كل من الفضة والنحاس والتوتياء المحمولة على حبيبات من السيراميك

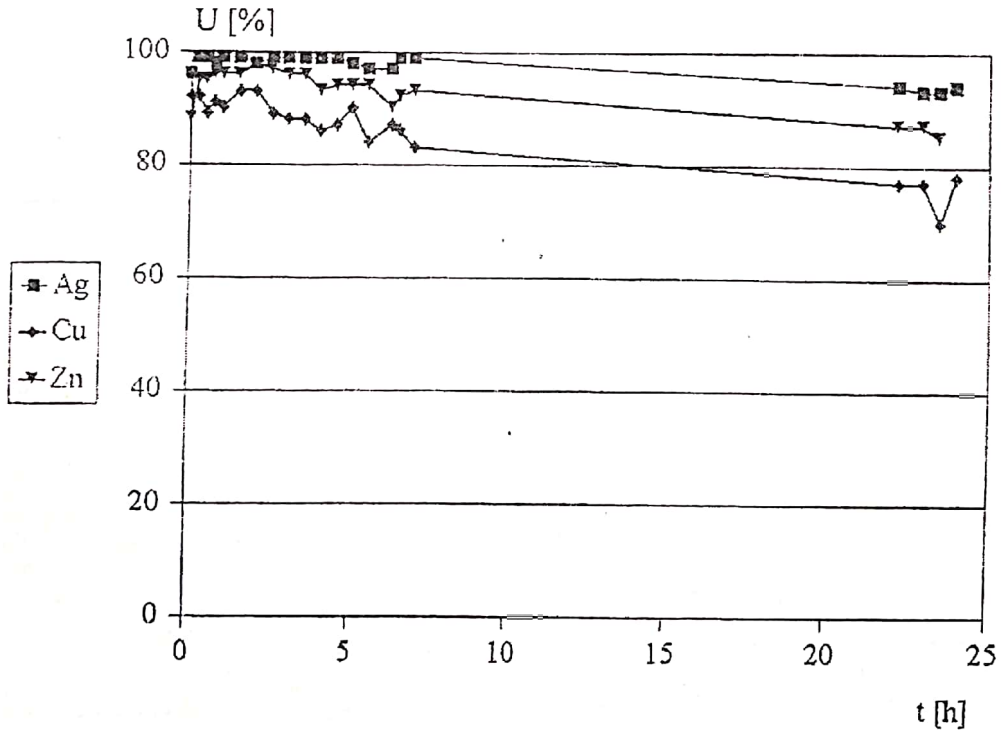
أجريت التجارب ضمن الشروط المذكورة في الفقرة (2-3). ويمثل الشكل (2) نتائج قدرة الامتزاز هذه حيث يبين تغيرات تحول تركيز كلور الزئبق خلال 24 ساعة. ولقد حسب التحول من العلاقة:

$$U(t) = \frac{c_{in}(t) - c_{out}(t)}{c_{in}(t)} \times 100$$

حيث:

c_{in} - تركيز كلور الزئبق قبل دخوله المفاعل.

c_{out} - تركيز كلور الزئبق بعد خروجه من المفاعل.



الشكل (2) امتزاز كلور الزئبق على كل من الفضة والنحاس والتوتياء المحمولة على حبيبات السيراميك خلال 24 ساعة

نلاحظ من الشكل السابق أن قدرة المعادن على الامتزاز تنخفض قليلا بعد 24 ساعة

ولكن بالمقارنة نجد أن أكبر درجة تحول حدثت على الفضة. فعند بدء القياس تم امتزاز كلور الزئبق بنسبة 100% تقريباً وبعد 24 ساعة انخفضت هذه النسبة إلى 94% فقط أي أنها بقيت مرتفعة بالرغم من طول مدة القياس. ويعلل ذلك بأن الفضة تملك ألفة مرتفعة للكوريدات وتقوم بإرجاع كلور الزئبق إلى الزئبق الحر الذي يمتاز بشكل جيد جداً على الفضة فيشكل معها ملغمة. كما أن التوتياء أبدى أيضاً قدرة امتزاز عالية تراوحت بين 98% عند بدء التجربة و 86% بعد 24 ساعة. ويعلل ذلك أيضاً بإرجاع معدن التوتياء لكلور الزئبق وامتزازه للزئبق الناتج مشكلاً معه ملغمة.

أما بالنسبة للنحاس فقد أظهر قدرة امتزاز أقل تراوحت بين 94% عند بدء التجربة و 79% بعد 24 ساعة. وهنا يلعب النحاس دور المرجع لكلور الزئبق إلا أنه لايشكل ملغمة مع الزئبق الحر الناتج. ويمكن أن تعزى حادثة امتزاز كلور الزئبق في هذه الحالة إلى البناء المسامي لحبيبات السيراميك وإلى ضغط بخار كلور الزئبق المنخفض [10].

4-2- دراسة التفاعل (كلور الزئبق/معدن) بوساطة انعراج أشعة رونتجن

لكي نستطيع الحكم على فعالية المعادن المحمولة على سطح السيراميك تجب معرفة ما إذا كانت العملية الجارية على سطحها حادثة امتزاز فيزيائي أو هي تفاعل كيميائي. وفيما إذا كانت جزيئات $HgCl_2$ الممتزة تبقى على سطح الجسم الماز.

وللرد على هذه التساؤلات (وخاصة فيما يتعلق بامتزاز كلور الزئبق الثنائي على سطوح معادن مختلفة) فقد عرضت رقائق من الذهب والفضة والنحاس والتوتياء بحجم (10 mm × 10 mm × 0.15 mm) لجو مشبع من كلور الزئبق المتصعد بسبب وضعه في حمام زيتي حرارته 60 °C. ثم أجريت عليها قياسات لإنعراج أشعة رونتجن باستخدام الجهاز (Diffraktometer D 500) بهدف الكشف عن البلورات الناتجة عن التفاعلات الجارية على سطوح هذه الرقائق. حيث أجريت هذه القياسات بطريقة زاوية السقوط المعيارية لأشعة رونتجن Theta التي تأخذ القيم من 30° حتى 90° وبطريقة زاوية السقوط الثابتة الصغيرة جداً (GID = Grazing Incidence Diffraction) وقيمتها 1° أو 3°.

وفي قياسات الطريقة الثانية GID تصل أشعة رونتجن إلى عمق أصغر بكثير من العمق الذي تصل إليه في قياسات الطريقة الأولى ومن خلال مقارنة بين طريقتي القياس هاتين يمكن إثبات حدوث هجرة لذرات الزئبق الناتج عن الإرجاع إلى داخل الأجسام المازة أو بقائها على سطوح هذه الأجسام.

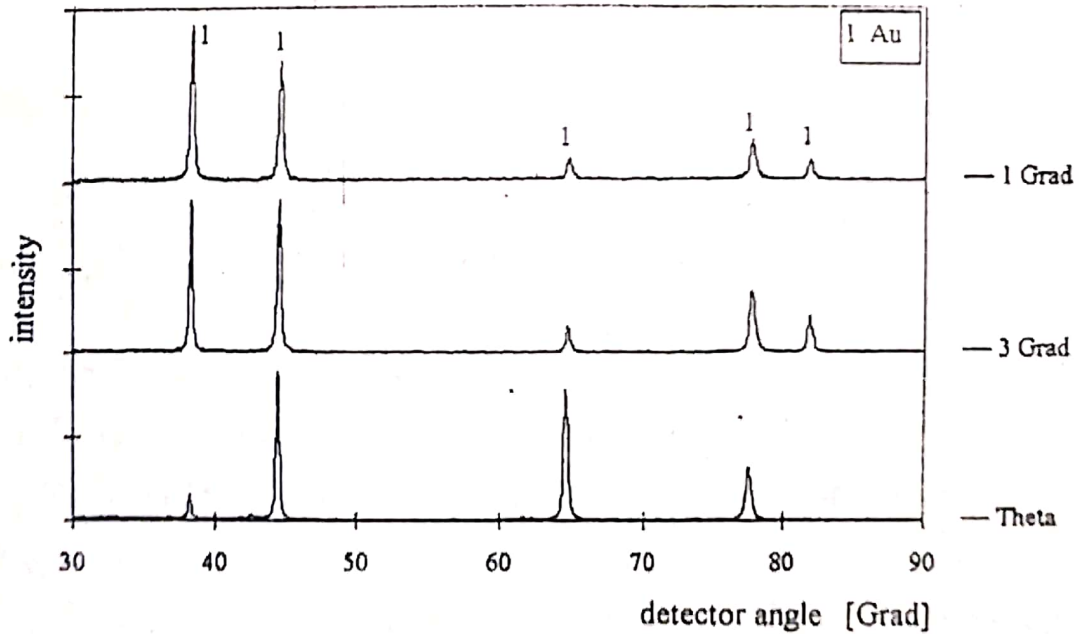
ويخلص الجدول التالي الشروط المطبقة عند إجراء قياسات انعراج أشعة رونتجن على الرقائق المعدنية المختلفة:

60 °C	درجة الحرارة أثناء تعريض الرقائق المعدنية لجو مشبع من $HgCl_2$
5 أيام بالنسبة لرقائق Zn, Cu, Au 2 يوم بالنسبة لرقائق Ag	مدة التعريض
30° حتى 90°	زاوية السقوط المعيارية للأشعة رونتجن
1° أو 3°	زاوية السقوط بطريقة GID

الجدول 3: الشروط المطبقة لقياسات انعراج أشعة رونتجن على رقائق معدنية مختلفة

4-2-1- نتائج قياسات انعراج أشعة رونتجن على رقاقة من الذهب بعد تعريضها لجو مشبع من كلور الزئبق

لم يلاحظ بالعين المجردة أي تغير على رقاقة الذهب بعد تعريضها لجو مشبع من كلور الزئبق المتصعد. وأثبت ذلك بوساطة قياسات انعراج أشعة رونتجن عليها (الشكل 3). حيث تطابق كل القمم في الطيوف الثلاثة من أجل 1° أو 3° و ($\Theta = 30^\circ - 90^\circ$) القمم الخاصة بالطيوف الأساسية للذهب النقي. وبالتالي نستطيع القول أنه لم يتكثف كلور الزئبق المتصعد على سطح رقاقة الذهب ولم يحدث أي تفاعل بينهما. أي أن الذهب لا يرجع كلور الزئبق ولا يشكل ملغمة. ولهذا السبب لم تجر تجارب امتزاز كلور الزئبق على الذهب.



الشكل 3: انعراج أشعة رونتجن على رقاقة من الذهب بعد تعريضها لجو مشبع من $HgCl_2$

4-2-2- نتائج قياسات انعراج أشعة رونتجن على رقاقة من الفضة بعد تعريضها لجو

مشبع من كلور الزئبق

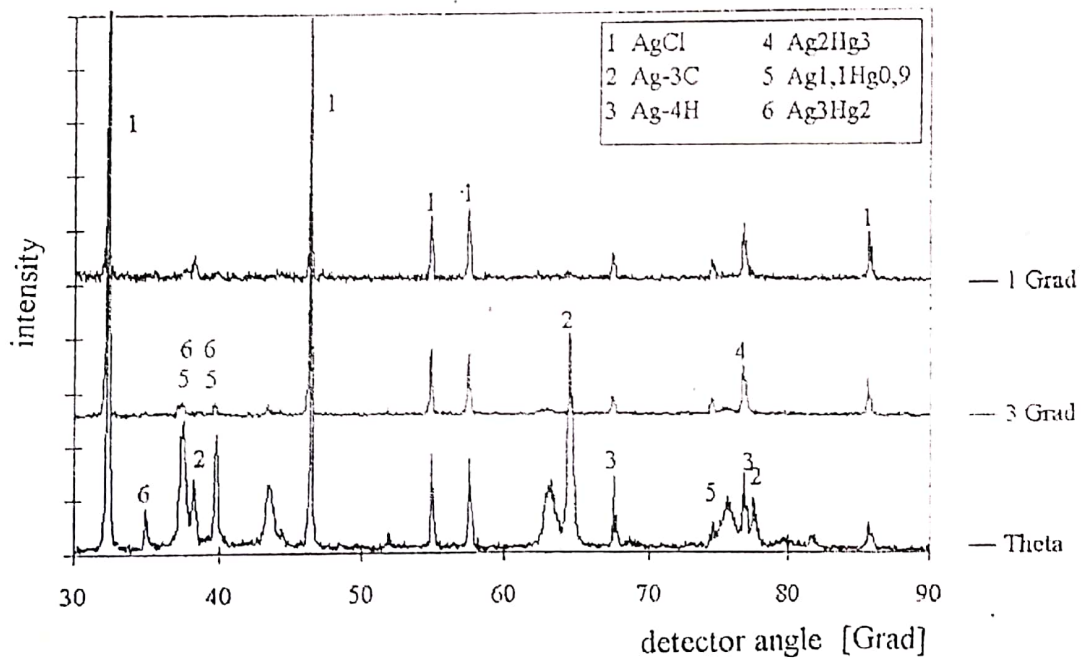
لوحظ تحول اللون الفاتح البراق لرقاقة الفضة إلى اللون الشاحب الرمادي وأثبت بانعراج أشعة رونتجن على هذه الرقاقة أن كلور الزئبق لا يتكثف فقط على سطحها بل ويتفاعل معها أيضاً ويبين الشكل (4) طيف الانعراج الناتج. ويتضح من هذا الطيف أن كلور الزئبق الممتز على سطح رقاقة الفضة قد أرجع بشكل كامل إلى الزئبق لأنه لم يظهر لـ $HgCl_2$ و Hg_2Cl_2 أية قمة في الطيوف الثلاثة المأخوذة من أجل 1° أو 3° و $(\Theta = 30^\circ - 90^\circ)$ كذلك لم تظهر أية قمة للزئبق الناتج عن الإرجاع وذلك بسبب تفاعله مع الفضة وتشكيلهما ملغمة تتواجد بثلاثة أشكال هي: $Ag_{11}Hg_{0.9}$ (Schachnerit) و Ag_2Hg_3 (Moschellandsbergit) و Ag_3Hg_2 (Paraschachnerit) وتظهر قممها الموافقة على الطيوف الثلاثة في الشكل (4). ونستنتج من ذلك أن الزئبق الناتج عن الإرجاع يشكل ملغمة على سطح الرقاقة ويهاجر أيضاً إلى الطبقات الداخلية من الرقاقة ويشكل فيها ملغمة. ويلاحظ كذلك من الطيوف الثلاثة أن الفضة تتواجد بشكلين هما $Ag-3C$ و $Ag-4H$ وتتناقص كميتها بالاتجاه من طيف الزاوية Θ إلى الطيفين الآخرين من أجل 3° و 1° . وبذلك تكون ذراته السطحية قد تفاعلت تقريباً بشكل كامل مع كلور الزئبق وشكلت $AgCl$. يحتل كلور الفضة القسم الأكبر من الطبقات المدروسة الموافقة للطيوف الثلاثة ولكنه يتراكم على سطح الرقاقة بكميات أكبر منها في الطبقات الداخلية لأن ارتفاع قممها في الطيفين الموافقين لـ 1° و 3° أكبر نسبياً من ارتفاعها في طيف الزاوية Θ . نستطيع مما سبق أن نؤكد بأن معدن الفضة يظهر فعالية مرتفعة على امتزاز كلور الزئبق لأن القسم الأكبر من نواتج التفاعل هو كلور الفضة ولأن كامل كمية الزئبق الناتج عن الإرجاع تمتاز على سطح الفضة بشكل ملغمة. وهذا ما يفسر التحول الكبير لكلور الزئبق عند تماسه مع الفضة المبيّن في الشكل (2)؛ مما يشير إلى أن هذا المعدن قد يكون أكثر المعادن فعالية لإبعاد كلور الزئبق عن التيار الغازي المنطلق من معامل حرق النفايات.

4-2-3- نتائج قياسات انعراج أشعة رونتجن على رقاقة من النحاس بعد تعريضها لجو

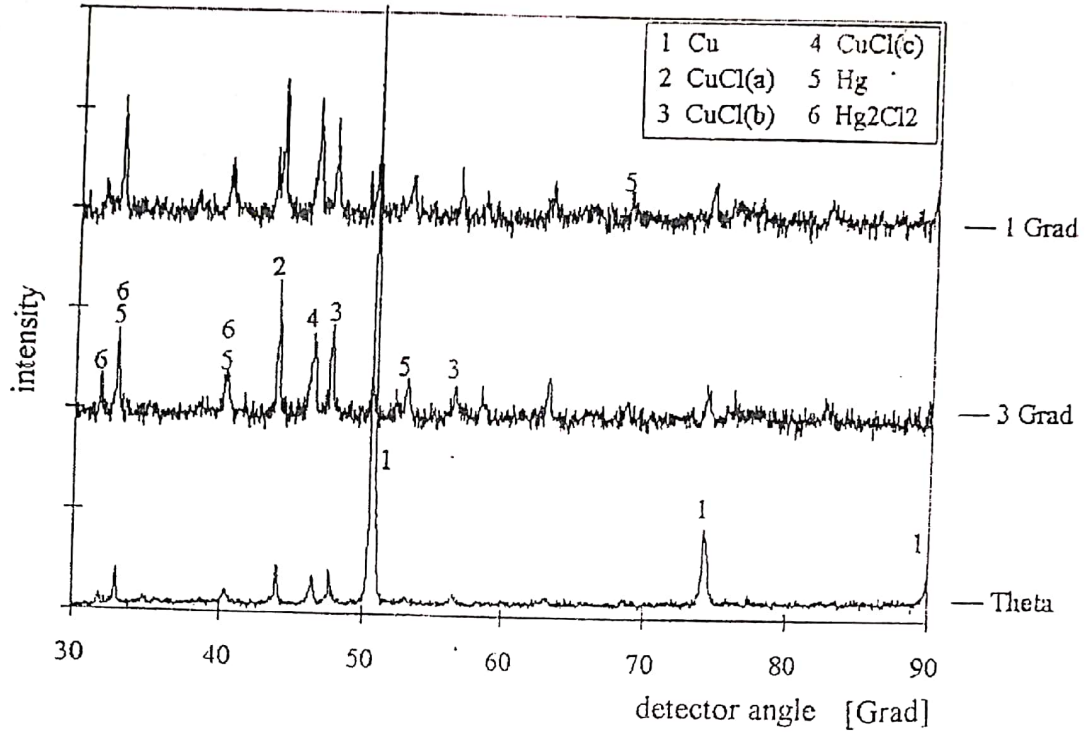
مشبع من كلور الزئبق

يثبت انعراج أشعة رونتجن على رقاقة من النحاس حدوث تفاعلات بين النحاس وكلور الزئبق المتصعد. ولكن ليس بنفس شدة التفاعلات الحاصلة على رقاقة الفضة. يبين الشكل (5) طيف الانعراج الناتج ويظهر فيه أنه تم الكشف عن النحاس ومركباته في الطيوف الثلاثة من أجل 1° و 3° و Θ مع ملاحظة أن قمم النحاس تحتل القسم الأكبر من هذه الطيوف. أي أن

النحاس يتواجد بكميات أكبر من مركباته بعد التفاعل. أما بالنسبة لكلور الزئبق فلم يظهر له أي أثر في الطيوف الثلاثة المأخوذة مما يدل على أنه تفاعل كلياً بينما تم الكشف عن Hg_2Cl_2 و Hg الناتجين عن إرجاع $HgCl_2$ بوساطة النحاس. كذلك لم يظهر أي أثر لملمغمة النحاس في الطيوف الثلاثة ولا لمركب كلور النحاس $CuCl_2$ بينما ظهر كلور النحاسي بثلاثة قمم هي: $CuCl(a)$ ، $CuCl(b)$ و $CuCl(c)$. نستنتج من هذه الدراسة بأن النحاس يرجع كلور الزئبق ولكن لا يستطيع بتفاعله معه أن يشكل لمغمة. تؤكد هذه النتيجة بأن تحول كلور الزئبق عند تماسه مع النحاس أقل من تحوله عند تماسه مع كل من الفضة أو التوتياء.



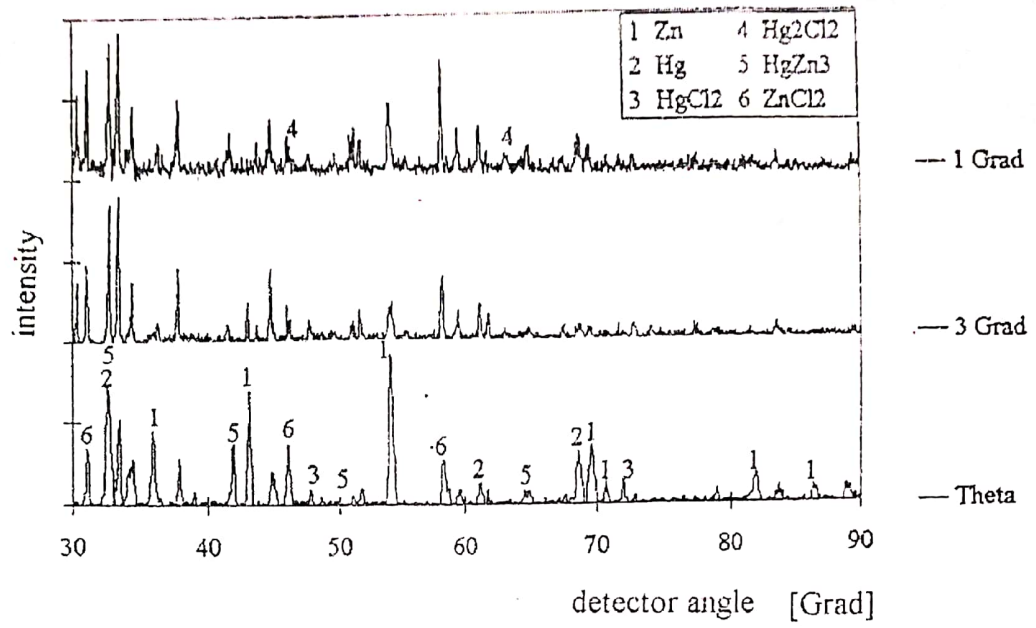
الشكل 4: انعراج أشعة رونتجن على رفاقة من الفضة بعد تعريضها لجو مشبع من $HgCl_2$



الشكل 5: انعراج أشعة رونتجن على رقاقة من النحاس بعد تعريضها لجو مشبع من $HgCl_2$

4-2-4- نتائج قياسات انعراج أشعة رونتجن على رقاقة من التوتياء بعد تعريضها لجو مشبع من كلور الزئبق

يمثل الشكل (6) طيف انعراج أشعة رونتجن على رقاقة من التوتياء بعد تعريضها لجو مشبع من كلور الزئبق وهذا الطيف يبين بأن التوتياء يحتل القسم الأعظم من الطبقات الداخلية للرقاقة وأن هناك تفاعل بين التوتياء وكلور الزئبق حيث يتشكل كلور التوتياء $ZnCl_2$ الذي يتواجد بكميات كبيرة على الطبقة السطحية من الرقاقة. كما يلاحظ وجود الزئبق والملغمة $HgZn_3$ بكميات لا بأس بها في الطيوف الثلاثة من أجل 1° و 3° و θ ووجود آثار من $HgCl_2$ و Hg_2Cl_2 . وبذلك نخلص إلى القول بأن التوتياء يرجع كلور الزئبق ويرتبط مع الزئبق الناتج بشكل ملغمة. وتتوافق هذه النتيجة مع التحول المرتفع لكلور الزئبق عند تماسه مع التوتياء رغم أنه أقل من تحوله عند تماسه مع الفضة.



الشكل 6: انعراج أشعة رونتجن على رقاقة من التوتياء بعد تعريضها لجو مشبع من HgCl_2



- [1] **Falbe J., Regitz M. (Hrsg.):** Römpp Chemie Lexikon, Bd. 5 - 9. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York 1992
- [2] **Koch T. C., Seeberger J., Petrik H.:** Ökologische Müllverwertung, C. F. Müller Verlag, Karlsruhe 1986
- [3] **Lohrer W., Pahlke G.:** Umwelt 5 (1977) 399 - 400
- [4] **Heintz A., Reinhardt G.:** Chemie und Umwelt 2. Aufl. Vieweg Verlag, Braunschweig 1991
- [5] **Braun H., Metzger M., Vogg H.:** Chem.-Ing.-Tech. 60 (1988) Nr. 2, 135.
- [6] **Merian E. (Hrsg.):** Metalle in der Umwelt, Verlag Chemie, Weinheim 1984, 511 ff
- [7] **Higuchi N., Yamagishi M., Miyuachi T.:** Can. CA 1, 294, 759 (Cl. B 01 D 53/34), 1992
- [8] **Körber R. W.:** Studien zur Sorption von Quecksilber aus Abluftströmen an beschichteten porösen Sorbenzien mit anschließender Desorption und Wiedergewinnung des Metalls, Dissertation, Universität Karlsruhe 1996
- [9] **Menig H.:** Luftreinhaltung durch Adsorption, Absorption und Oxidation, 1. Aufl., Deutscher Fachschriften - Verlag, Wiesbaden 1977, 30 ff
- [10] **Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, Sys. Nr. 61 Teil B,** 8. Aufl., Verlag Chemie, Weinheim 1972, 489