دراسة خصائص توازن الجمل ثنائية الطور(غاز +سائل)

الدكتور: عبدالله الحمد
مدرس في قسم الطاقة – كلية الهندسة الميكانيكية – جامعة حلب

الملخص

كما هو معروف فإنه يتم ضخ العديد من المنتجات مثل السوائل والغازات والجسيمات الصلبة و خلائطها خلال خطوط الأنابيب، ومع ذلك فإنه لم تجري دراسة شاملة للأسس العلمية لنقل مثل هذه الجمل وخاصة الأخيرة منها مما يخفض من فعالية استثمار خطوط الأنابيب التي تنقل خلالها هذه المنتجات، لذلك فإن دراسة الأسس النظرية للجمل متعددة الأطوار تعتبر مسألة مهمة في مجال نقل هذه المنتجات عبر خطوط الأنابيب. وبخاصة الجمل ذات المحتويات الغازية والموجودة في ضغوط أدنى أو أعلى من ضغط الإشباع. يفترض أن تحرر الغاز من السائل والانحلال فيه يتم على شكل بادئات مكروية يمكن النظر إليها كفقاعات صغيرة من الغاز ينمو حولها وباستمرار الطور الجديد. هذا يعني أن الطور المتشكل في المرحلة البدائية للعملية عبارة عن مركب معقد من الجزيئات التي تختلف عن الأجسام المجهرية بصغر حجمها في الحالة التي يتكون فيها الطور المرافق.

لذلك فإن دراسة التوازن الترموديناميكي بين هذه الأطوار يشكل أهمية كبيرة وبشكل خاص تحديد نصف القطر الحرج للفقاعات المتشكلة في الأطوار تحت مستويات ضغوط مختلفة بالنسبة لضغط الإشباع مما يسهل لنا التنبؤ بالضغط الذي تضخ فيه هذه الخلائط مع أقل الضياعات الهيدروليكية والمشاكل التقنية.

دراسة خصائص توازن الجمل ثنائية الطور(غاز +سائل)

الدكتور: عبدالله الحمد
مدرس في قسم الطاقة – كلية الهندسة الميكانيكية – جامعة حلب

كما هو معروف فإنه يتم ضخ العديد من المنتجات مثل السوائل والغازات والجسيمات الصلبة و خلائطها خلال خطوط الأنابيب، ومع ذلك فإنه لم تجري دراسة شاملة للأسس العلمية لنقل مثل هذه الجمل وخاصة الأخيرة منها مما يخفض من فعالية استثمار خطوط الأنابيب التي تنقل خلالها هذه المنتجات، لذلك فإن دراسة الأسس النظرية للجمل متعددة الأطوار[1] تعتبر مسألة مهمة في مجال نقل هذه المنتجات عبر خطوط الأنابيب.

تدخل في عداد هذه الجمل ذات المحتويات الغازية والموجودة في ضغوط أدنى أو أعلى من ضغط الإشباع. يفترض أن تحرر الغاز من السائل والانحلال فيه يتم على شكل بادئات مكروية يمكن النظر إليها كفقاعات صغيرة من الغاز ينمو حولها وباستمرار الطور الجديد. هذا يعني أن الطور المتشكل في المرحلة البدائية للعملية عبارة عن مركب معقد من الجزيئات التي تختلف عن الأجسام المجهرية بصغر حجمها في الحالة التي يتكون فيها الطور المرافق

لتقدير الطاقة الحرة للمزيج المتشكل حيث البادئات ذات أبعاد صغيرة والسطح الإجمالي كبير نسبيا، فإن الطاقة السطحية والتوتر السطحي لها أهمية كبيرة.

توجد الجزيئات المتوضعة في الطبقة الرقيقة والمتاخمة مباشرة لسطح الفصل في ظروف مختلفة عن ظروف الجزيئات الأخرى حيث الفعل المتبادل يحصل ليس فقط بين هذه الجزيئات وجزيئات طورها وإنما يحصل أيضا بينها وبين جزيئات الطبقة المجاورة لها من الطور الآخر المختلف.

بسبب تعقيد التحليل الدقيق لخواص الطبقة لذلك يمكن الاكتفاء بمخطط بياني متقن وقائم على افتراض تواصل الوسط وثبات التوتر السطحي.

أما بالنسبة للفقاعات الصغيرة جدا والتي أبعادها الخطية تقارن في مجال عمل قوى الفعل المتبادل بين الجزيئات (10مكرون) فإن التوتر السطحي يتغير بتغير نصف القطر. ومن المعلوم أن الطاقة الداخلية والطاقة الحرة للجملة تعادلان مجموع طاقات الأطوار كلٌ على حدة معتبرين أن كل طور من هذه الأطوار هو طور متجانس، أما الطاقة الحرة فهي متناسبة مع كتلة الجملة.

وهنا لا يأخذ بعين الاعتبار التأثير المتبادل بين الأطوار، وأن الوضع بجوار السطح يمكن أن يختلف عن الوضع داخل الطور. ويزداد تأثير هذه العوامل مع زيادة سطح الأطوار وخاصة بالنسبة للمادة الموجودة في وضعية عالية التبعثر.

يرافق التغير في سطح الجملة تلقي عمل أو صرف عمل. لتكوين سطح جديد يجب أن ينتقل الجزيئ من الداخل إلى السطح وهذا يتطلب صرف عمل ، وهكذا يمكن تمثيل الطاقة الحرة السطحية للفقاعة بحاصل ضرب مساحتها $4\pi r^2$ بالتوتر السطحي الموافق لسطح مستو(شرط $r \to \infty$ ، حيث r نصف قطر الفقاعة).

بالنسبة للجمل ثنائية الطور(سائل +غاز) ومع أنصاف أقطار فقاعات أكبر بكثير من سماكات الطبقة السطحية، أي أكبر بكثير من مجال عمل قوى الفعل المتبادل بين الجزيئات فإن الجهد الترموديناميكي الكلي[2] يكون :

$$\phi = N_1\varphi_1 + N_2\varphi_2 + 4\pi\sigma r r^2 \qquad (1)$$

حيث N_1, N_2 أعداد الجزيئات في الأطوار

φ_1 و φ_2: الجهود الكيميائية المتعلقة بجزيء واحدة من الطور المرافق، وذلك عند درجة حرارة معينة T وضغط خارجي P.

لدى انحلال الغاز في السائل يكون ضغط الغاز الموجود في توازن مع الفقاعة وفي درجة حرارة معينة T ، أكبر كلما صغر نصف قطر هذه الفقاعة. لهذا يكون الضغط داخل الفقاعة P_2 أكبر من ضغط الغاز P_1 بقيمة $2\sigma/r$ أي أن فرق الضغط: $P_2 - P_1 = 2\sigma/r$ وهذا يساوي الضغط الشعري.

يمكن أن توجد حالات يكون فيها الغاز بحالة فوق ضغط الإشباع بالنسبة لفقاعة ذات نصف قطر لا متناه في الكبر(سطح فصل مستو)، ويمكن أن يكون بحالة الإشباع بالنسبة لفقاعة ذات حجم صغير بدرجة كافية.

وهكذا فإن حساب الطاقة الحرة السطحية لبادئات الطور الجديد بالنسبة للوسط المحيط. يسمح بتوسيع مفهوم التوازن الترموديناميكي للطورين وخاصة يسمح بحساب أبعاد وأشكال البادئات في الحالات غير المستقرة (غير الثابتة).

تتحدد شروط التوازن في الجملة (فقاعة – سائل) بالمشتق ϕ والذي يساوي الصفر نشترط :

$$N_1 + N_2 = N = const$$

$$\varphi_2 + \varphi_1 + 4\pi\sigma\frac{dr^2}{dN_2} = 0 \qquad (2)$$

حيث الدليل (2) يتعلق بالطور الغازي ، بينما الدليل (1) يتعلق بالطور السائل. لنرمز لحجم الجزئ ب V_2 وبقبول : $N_2 = \frac{4\pi r^3}{3V_2}$ ، نحصل على :

$$\varphi_2 - \varphi_1 + \frac{2\sigma}{r}V_2 = 0 \qquad (3)$$

حيث : $V = \frac{m_r}{\rho_2 N_A}$ ، وحيث

m_r : الوزن الجزيئي

ρ_2 : كثافة الغاز و حيث

عدد أفوغادرو $N_A = 6.02 * 10^{23} moll$

وعندما $r \to \infty$ فإن المعادلة (3) تتحول إلى شرط التوازن العادي لسطح الفصل المستوي للأطوار $\varphi_2 = \varphi_1$ مع الأخذ بعين الاعتبار أن $d\varphi_1 = v_1 dp$ و $d\varphi_2 = v_2 dp$ (3) ، نفاضل (3) مع الأخذ بعين الاعتبار (T=const) فنحصل على :

$$(v_1 - v_2)dp = 2\sigma V_2 d(\frac{1}{r}) \qquad (4)$$

و بالمكاملة :

$$(5)\ \ln\frac{p}{p_\infty} = \frac{2\sigma V_2}{rkT}$$

أو :

$$\frac{P}{P_\infty} = e^{(\frac{2\sigma}{r}\frac{m_2}{\rho_2 kT})} \qquad (6)$$

حيث R : ثابت الغازات العام ، $R = N_A K$

بالاعتماد على (5) يمكن الحصول على قيم نصف القطر الحرج للفقاعة الموجودة في وضع التوازن الترموديناميكي مع السائل المحيط أو مع الغاز المنحل في السائل المحيط.

$$r_{cr} = \frac{2\sigma m_2}{\rho_2 RT}\frac{1}{\ln\frac{p}{p_\infty}} \qquad (7)$$

وهكذا فإن المعادلة (6) تربط ضغط السائل المشبع بالغاز على الفقاعة مع نصف قطرها. من(6) ينتج أيضا أن الجمل ثنائية الطور والحاوية على فقاعات مختلفة الأبعاد توجد في وضعية توازن غير مستقر (قلق).الفقاعات الصغيرة ذات القدرة السطحية الزائدة تنحل، أما الفقاعات الكبيرة فتكبر وتستمر هذه العملية حتى ينتقل كل الغاز المنحل إلى الفقاعات ذات الأبعاد الكبيرة . ومن وجهة النظر النظرية الجزيئية – التحريكية، فإن زيادة ضغط إشباع السائل داخل الفقاعة الغازية هو نتيجة مباشرة لانخفاض طاقة انطلاق الغاز من السائل، ومايطلق عليه التبخر الكاذب) ، وهذا مشروط بزيادة الطاقة السطحية للفقاعة عند انخفاض أبعادها. نشير بان الدرجة العظمى لفرق الإشباع أي النسبة $\frac{p}{p_\infty}$ يمكن أن يبلغ قيمة عظمية. أي مثلا بالنسبة لفقاعة ذات نصف قطر $r = 5*10^{-10}$ وهذا ما يوافق عدد الجزيئات في الفقاعة نحصل على $p = p_\infty$.

إلا أن التوازن بين الأطوار غير مستقر. وبالفعل إذا افترضنا أن الفقاعة الموجودة في وضعية توازن مع السائل المنحل فيه الغاز، وذلك عند قيمة لنصف القطر $r = r_{cr}$ المحددة بالمعادلة (7) ، فإن انخفاضا ضئيلا في أبعاد الفقاعات يؤدي إلى زيادة ضغط الغاز المشبع في السائل وذلك بالنسبة للغاز المحيط .أما الفقاعة فسوف تنحل. وعكس ذلك يحدث عند الزيادة الضئيلة لنصف قطر الفقاعة حيث يصبح ضغط غازها أقل من ضغط الغاز في السائل, وسوف تتابع الفقاعة نموها.

وبالنسبة للفقاعات الصغيرة فإن الطاقة السطحية الحرة تتناسب مع r^2 وتكبر بسرعة أكبر مما يصغر الحد الحجمي $N_2\varphi_2$ في معادلة الجهد الترموديناميكي وعدم إمكانية الانحلال. بالنسبة للفقاعات الكبيرة ابتداء من $r >> r_{cr}$ فإن تناقص الحد الحجمي يحدث بشدة أكبر من نمو $4\pi r^2$ ويصبح الانحلال ممكنا .

وبهذه الطريقة يعبر عن عدم التوازن بين الأطوار بأن جهد الجملة ϕ لا يكون أصغريا عند $r = r_{cr}$ وذلك كما في التوازن الترموديناميكي العادي المستقر، على العكس جهد الجملة ϕ أعظميا. وإذا رمزنا لجهد الجملة الموافق للحالة التي لا يوجد فقاعات فيها ب ϕ_0 نحصل على :

$$\Delta\phi = \phi - \phi_0 = \varphi_1 N_1 + \varphi_2 N_2 + 4\pi r^2\sigma - \varphi_1(N_1 + N_2) = (\varphi_2 - \varphi_1)N_2 + 4\pi r^2\sigma \qquad (8)$$

وبتعويض: $N_2 = \frac{4\pi r^3}{3V_2}$ ، و : $\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{V_2} = \frac{2\sigma}{r_{cr}}$ من المعادلة (3) نجد :

$$(9)\ \Delta\phi = 4\pi\sigma(-\frac{2}{3}\frac{r^3}{r_{cr}} + r^2)$$

ومع تشكل الفقاعة ونموها فإن الجهد $\Delta\phi$ يزداد في البداية بالغا عند $r = r_{cr}$ القيمة العظمى .

$$(10)\ \Delta\phi_{max} = \frac{4\pi\sigma}{3}r_{cr}^2$$

ولكنه بعد ذلك يتناقص. إذا كان الطور الابتدائي موجودا في حالة توازن ترموديناميكي مستقر أي: $(\varphi_1 < \varphi_2)$ فإن $\Delta\phi$ يمثل تابع متزايد باستمرار. وهكذا طالما بقي الطور الابتدائي متوازنا ترموديناميكيا $(\varphi_1 < \varphi_2)$. فإن بادئات الطور الجديد والتي تشكلت بشكل عرضي تتصف بعدم قدرتها على البقاء حيث أنها تختفي بعد نشوءها دون أن تبدي ميلا إلى النمو غير المحدود. وفي هذه الحالة التي يكون فيها الطور الأساسي غير متوازنا من الناحية الترموديناميكية وغير مستقرة نسبيا $\varphi_1 > \varphi_2$ ، يصبح هذا الميل هو السائد في الطور الجديد. وبعد أن تبلغ البادئات أبعادا حرجة إلى حد ما $r = r_{cr}$ وموافقة للحد الأعظمي للجهد $\Delta\phi_{max}$ تدعى هذه البادئات عادة بنوى الطور الجديد.

ويمكن عن طريق المعادلة (7) تحديد قيمة نصف القطر الحرج للفقاعة الموجودة في وضعية توازن ترموديناميكي مع السائل المحيط والمشبع بالغاز. وعندما الإشباع النسبي مساويا لـ(1) و $r \to \infty$ (أي الفقاعة ذات حجم لا متناه في الكبر)، وكلما صغر نصف قطر الفقاعة ارتفع الضغط التوازني للغاز في السائل p ، ويكون هذا الارتفاع شديدا بشكل خاص بالنسبة للفقاعات ذات أبعاد $r < 25 * 10^{-8} m$.

ЛИТЕРАТУРА

1. П.Я., 1987-**Исслдование движения газожидкостных систем с учётом образования мкрозародышей** *ИФЖ*, Т52 ,No5, с 756 –771.

2. Франкель Я.И., 1975 – **Кинетическая теория жидкоси**. *Ленинград А. Наука.с.*457.

3. Нематуллаев У. , Белинский Б.А,. 1966- Установка для **одновременног- акустических параметов и сдвиговой вязкоти в широком измерения интервале температур идавлений Улетрозвук теоринвая техника**. *Наук-техн. Реф.сб* B5 с.8-12

4. Болотов А. Мирзаджанзаде А. Х. Нестеров И.И., 1988- **Реолгические свойства газов в жидсоти в облости давления насыщения** *Изд-во АН СССР МЖГ* No1, с. 172-175

5.Хасанов М.М. Майский Р.А., 1989 – **Стохастические колебания при течении газожидкостных систем** . *Физко-Химическая гидродинамика Межвузовский сборник-Уфа-Баку* . с. 40-47 .

6.Мехтиев Д.Ш., 1995 – **Исследование особенностей движения гаожидкостных потоков с учётом фазовых превращений в трубопроводных системах**. *Кандидатская дисс.Баку.*с.145.

The study of equalprom properties of to phase system (liquid + ges)

Dr. Eng. Abdullah Alhamad
Teacher of aleppo university – Mechanical Engineering – Energy department

As it is well-known many of the propreties of the products such as liquids, gases, and solid molecules are pumped with mixtures by pipelines, However, no thorough study was made about the scientific foundations for convening such systems especially the last one. This decreases the efficiency of pipeline exploitation by which theses products are conveyed. That is why the study of the theoretical foundations of multi-phase systems is considered an important matter in the field of conveying these materials, especially systems of gaseous contents and which exist in pressures that are lower or higher than the saturation . It is supposed that releasing(dissolving) in to liquid is made in the shape micro-bubble that can be seen as small bubbles of gas and the new bubbles of gas and the new phase frequently grow around them. That means that the phase which is formed in the in the first stage is about a complex of molecules which are different from the micro bodies in there small volume in the case where the accompanying phase is formed As a result, the study of the thermodynamic equalprom among these phases is of a great important case , especially defined of the critical half- diameter of the formed bubbles in the phases under the level of different pressures relative of saturation pressure which facilitate for us to predict the pressure in which these mixtures are pumped with the least hydraulic losses and technical problems