

# Nghiên cứu sự dịch chuyển của lưu chất trong kênh dẫn bởi ảnh hưởng của nguồn nhiệt

Lê Thanh Long<sup>1,2,3,\*</sup>



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

<sup>1</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM, Việt Nam

<sup>2</sup>PTN Trọng điểm ĐKS và KTHT (DCSELAB), Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM, Việt Nam

<sup>3</sup>Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

## Liên hệ

**Lê Thanh Long**, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM, Việt Nam

PTN Trọng điểm ĐKS và KTHT (DCSELAB), Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM, Việt Nam

Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: ltlong@hcmut.edu.vn

## Lịch sử

- Ngày nhận: 29-3-2019
- Ngày chấp nhận: 25-4-2019
- Ngày đăng: 31-12-2019

DOI :10.32508/stjdet.v2iSI2.492



## Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



## TÓM TẮT

Trong bài báo này, chúng ta sử dụng các phương pháp số để mô phỏng sự di chuyển của lưu chất lỏng trong kênh dẫn vi lưu bởi hiện tượng mao dẫn nhiệt. Nguồn nhiệt từ laser được đặt bên phía trái của giọt chất lỏng. Để xác định được vị trí chính xác của giọt chất lỏng trong kênh dẫn cũng như quan sát rõ sức căng bề mặt của chất lỏng trong quá trình di chuyển, chúng ta sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn kết hợp với kỹ thuật định mức giữa hai pha khác nhau. Điều kiện biên ở thành trên và bề mặt dưới của kênh dẫn được sử dụng ở nhiệt độ môi trường. Khi nguồn nhiệt từ laser được sử dụng, ta thấy có một cặp dòng xoáy đối lưu nhiệt xuất hiện bên trong và xung quanh chất lỏng. Chính lực tạo ra bởi cặp dòng xoáy này (lực mao dẫn nhiệt) cùng với lực đẩy do chênh lệch áp suất làm cho chất lỏng di chuyển trong kênh dẫn vi lưu. Kết quả mô phỏng cho thấy sự biến thiên nhiệt độ trong kênh dẫn vi lưu do nguồn nhiệt phát ra từ laser sẽ ảnh hưởng đến tính chất chuyển động của giọt chất lỏng trong kênh dẫn vi lưu. Chất lỏng ban đầu di chuyển nhanh rồi sau đó giảm dần vận tốc. Góc tiếp xúc động của giọt chất lỏng chịu ảnh hưởng lớn bởi sự di chuyển của dòng dầu trong kênh dẫn và chênh lệch moment mao dẫn nhiệt trong giọt chất lỏng. Góc tiếp xúc phía trước của giọt chất lỏng luôn luôn lớn hơn góc tiếp xúc phía sau trong quá trình giọt chất lỏng chuyển động trong kênh dẫn vi lưu.

**Từ khóa:** Mô phỏng số, chuyển động mao dẫn nhiệt, sức căng bề mặt, nguồn nhiệt, kênh dẫn vi lưu

## GIỚI THIỆU

Gần đây, các nhà nghiên cứu trên thế giới rất quan tâm đến công nghệ vi chất lỏng bởi sự ứng dụng rộng rãi của nó trong các thiết bị điện tử, vi mạch Lab-on-a-Chip (LOC), các hệ thống vi cơ điện tử Micro-Electro-Mechanical System (MEMS) hoặc sự tổng hợp protein ứng dụng trong y học...<sup>1-3</sup>. Trong đó việc nghiên cứu sự di chuyển mao dẫn nhiệt của vi chất lỏng trong các thiết bị có kênh dẫn vi lưu thì rất quan trọng. Một số kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học đã tập trung lý giải cơ chế chuyển động của vi chất lỏng hoặc hiện tượng biến dạng của chất lỏng trong quá trình di chuyển dưới ảnh hưởng của nhiệt<sup>4-10</sup>. Kết quả nghiên cứu của Brochard<sup>4</sup> cho thấy chất lỏng từ trạng thái cân bằng trên bề mặt rắn di chuyển bởi sự biến thiên nhiệt độ ở phía trước và sau giọt chất lỏng. Sự chênh lệch góc tiếp xúc trước và sau của chất lỏng phụ thuộc vào độ biến thiên nhiệt độ hai bên của giọt chất lỏng. Kết quả thực nghiệm của Anantharaju<sup>5</sup> chỉ ra rằng bề mặt tại nơi có đường tiếp xúc ba pha gián đoạn, góc tiếp xúc của chất lỏng phụ thuộc vào phần diện tích trống trên bề mặt rắn nhưng ngược lại góc tiếp xúc này lại gần như không phụ thuộc vào phần diện tích trống trên bề mặt có đường tiếp xúc ba pha

liên tục. Ford và Nadim<sup>6</sup> sử dụng lý thuyết điều kiện trượt của Navier để nghiên cứu ảnh hưởng của hệ số trượt đến hiện tượng chuyển động của góc tiếp xúc của chất lỏng. Các kết quả mô phỏng mới nhất của Le và nhóm nghiên cứu của mình<sup>7-9</sup> cho thấy sự chuyển động của chất lỏng trong kênh dẫn vi lưu hay ống mao dẫn là do sự biến thiên nhiệt độ từ hai phía của chất lỏng đã gây ra lực mao dẫn nhiệt và áp lực do chênh lệch áp suất trong kênh dẫn vi lưu hay ống mao dẫn tác động vào chất lỏng và làm cho nó di chuyển. Ngoài ra có một số thực nghiệm, người ta đã dùng nguồn laser để điều khiển linh hoạt hướng chuyển động hay vận tốc di chuyển của chất lỏng trong các thiết bị vi chất lỏng hoặc trong các kênh dẫn vi lưu<sup>10</sup>. Vì vậy, việc sử dụng phương pháp số để nghiên cứu quá trình chuyển động của giọt chất lỏng bằng cách dùng nguồn nhiệt phát ra từ laser là rất khả quan.

Trong nghiên cứu này, các phương pháp số trong các nghiên cứu của Le và nhóm nghiên cứu của Le sẽ được sử dụng để mô phỏng sự chuyển động của động của chất lỏng trong kênh dẫn vi lưu dưới tác dụng của nguồn nhiệt phát ra từ laser. Phương pháp bảo toàn định mức và kỹ thuật Lagrangian – Eulerian (ALE) dựa trên nền tảng phần tử hữu hạn được sử dụng để xác định vị trí và quãng đường dịch chuyển của giọt

**Trích dẫn bài báo này:** Long L T. Nghiên cứu sự dịch chuyển của lưu chất trong kênh dẫn bởi ảnh hưởng của nguồn nhiệt. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 2(S12):SI137-SI143.

chất lỏng trong kênh dẫn vi lưu dưới tác dụng của nguồn nhiệt laser.

### PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Mô hình được nghiên cứu ở đây là một kênh dẫn vi lưu có tiết diện là H x W. Bên trong có đặt một giọt nước có dạng nửa hình cầu với góc tiếp xúc là  $\theta$ , chiều cao lớn nhất là hm, chiều dài giọt chất lỏng là L (Hình 1). Nhiệt độ ở thành trên và thành dưới bằng nhiệt độ môi trường. Biên dạng của bề mặt giọt nước được mô tả bằng phương trình  $z = S(x)$ . Ở đây chúng ta bỏ qua ảnh hưởng của trọng lượng giọt chất lỏng vì kích thước giọt chất lỏng rất nhỏ. Tính chất vật lý của nước và dung môi Hexadecane (dầu) được mô tả như trong Bảng 1.

Phương trình bảo toàn khối lượng, động lượng và năng lượng đối với lưu chất Newton không nén được (nước và dầu) là:

$$\left[ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} \right]_i = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \rho_i \left[ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial z} \right] \\ = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu_i \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + F_x \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \rho_i \left[ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial z} \right] \\ = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu_i \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + F_z \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \rho_i C_{p_i} \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial z} \right] \\ = k_i \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + Q_s \end{aligned} \quad (4)$$

trong đó  $u_i$  và  $v_i$  là vận tốc của lưu chất theo phương  $x$  và  $z$ ;  $p$  là áp suất và  $\rho_i$  khối lượng riêng của lưu chất;  $\mu_i$  là độ nhớt của lưu chất;  $C_{p_i}$  là nhiệt dung riêng;  $k_i$  là độ dẫn nhiệt;  $T$  là nhiệt độ. Ký tự  $i = "w"$  và  $i = "o"$  để chỉ nước và dầu.  $F_x$  và  $F_z$  lần lượt là lực căng bề mặt theo phương  $x$  và  $z$ .  $Q_s$  là nguồn nhiệt laser.

Phương pháp xác định lực căng bề mặt của chất lỏng được Brackbill<sup>11</sup> sử dụng để giải quyết ứng suất căng tại bề mặt đó. Trong phương pháp này, lực căng bề mặt được xác định là:

$$F = \sigma \kappa \delta n \quad (5)$$

trong đó  $\sigma$  là sức căng bề mặt;  $\delta$  là hàm Dirac delta;  $\delta$  là vector pháp tuyến của bề mặt; và  $\kappa$  là biên dạng bề mặt. Ở đây, sức căng bề mặt là một hàm tuyến tính theo nhiệt độ<sup>12</sup>:

$$\sigma = \sigma_{ref} - \gamma_T (T - T_{ref}) \quad (6)$$

trong đó  $\sigma_{ref}$  là sức căng bề mặt tại nhiệt độ môi trường  $T_{ref}$  và  $\gamma_T = -\partial\sigma/\partial T$  là hệ số sức căng bề mặt.

Điều kiện biên của lưu chất di chuyển trong kênh dẫn vi lưu được xác định như sau:

$$p = p_o; \frac{\partial u_o}{\partial x} = 0; \frac{\partial T}{\partial x} = 0; x = 0 \text{ or } x = W \quad (7)$$

$$u_o = v_o = 0; T_o = T_{ref}; 0 < x < W; z = H \quad (8)$$

$$\begin{aligned} u_o = v_o = 0 \text{ when } 0 < x < x_1 \\ \text{and } x_2 < x < W; z = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$T_i = T_{ref}; 0 \leq x \leq W, z = 0 \quad (10)$$

trong đó  $x_1$  và  $x_2$  là vị trí 2 điểm tiếp xúc của giọt nước. Điều kiện trượt Navier được gán vào đường phân cách nước – rắn, dầu – rắn trong kênh dẫn và có phương trình là:

$$u_\tau = b_{is} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (11)$$

trong đó  $b_{is}$  là hệ số trượt. Các ký tự  $i = "w"$ ,  $i = "o"$ , và  $s$  để chỉ giọt nước, dung môi dầu, bề mặt rắn. Giá trị của hệ số trượt  $b_{is}$  phụ thuộc vào độ nhám bề mặt và loại lưu chất sử dụng<sup>13,14</sup>. Tại mặt phân cách giữa nước – dầu phải thỏa mãn điều kiện dòng chảy và nhiệt độ liên tục như sau:

$$V_w \cdot \nabla S = V_o \cdot \nabla S, T_o = T_w \quad (12)$$

trong đó  $V = ui + vj$ .

Trước khi bắt đầu dùng nguồn nhiệt laser, giọt nước được đặt ở vị trí tại thành dưới của kênh dẫn và có nhiệt độ bằng nhiệt độ môi trường. Vì vậy, điều kiện ban đầu của mô hình vật lý là:

$$V_w(X, 0) = V_o(X, 0) = 0 \quad (13)$$

$$T_{sub}(x, 0, 0) = T_{ref} \quad (14)$$

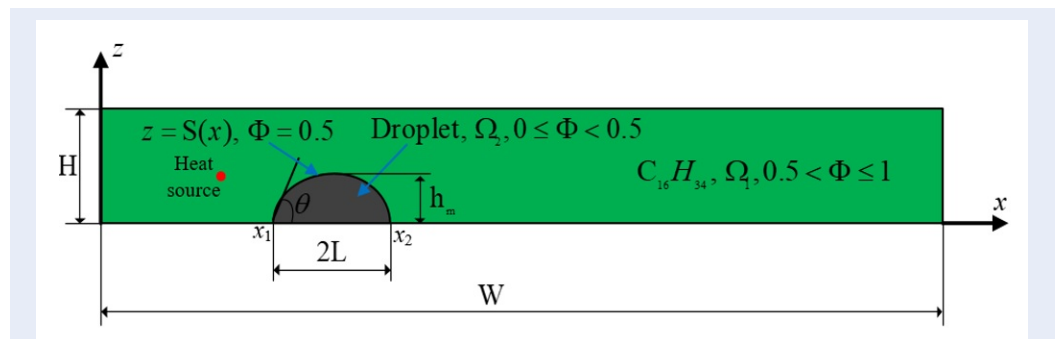
$$T_w(X, 0) = T_o(X, 0) = T_{ref} \quad (15)$$

trong đó  $X = xi + zj$ .

Trong đề tài này, phương pháp bảo toàn định mức<sup>15,16</sup> được sử dụng để giải quyết vấn đề biến dạng của bề mặt phân cách giữa 2 lưu chất khác nhau. Ngoài ra, để đảm bảo sự chính xác của phương pháp số ta còn dùng phương pháp hằng số Lagrangian Eulerian mà trong đó phương pháp phần tử hữu hạn là nền tảng. Phương pháp này giúp mô hình lưới di chuyển liên tục và đồng thời với bề mặt phân cách giữa dầu và nước.

**Bảng 1: Tính chất vật lý của nước và dung môi Hexadecane (dầu) tại nhiệt độ 298K**

Tham số	Nước	Dầu (C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> )
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	998.23	775
$\sigma$ (N/m)	71,8x10 <sup>-3</sup>	28,12x10 <sup>-3</sup>
$\gamma T$ (mN/m.K)	0,1514	0,06
$\mu$ (Pa.s)	9x10 <sup>-4</sup>	0,003
$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	1,458x10 <sup>-7</sup>	3,976x10 <sup>-7</sup>
k (W/m.K)	0,6084	0,154
CP (J/kg.K)	4181,3	499,72



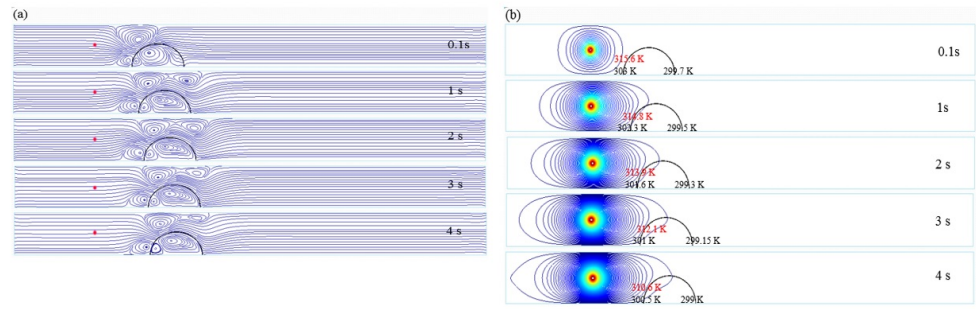
**Hình 1:** Mô hình vật lý của kênh dẫn micro có chứa giọt nước. Giá trị của hàm định mức tại mặt phân cách giữa hai pha nước – dầu bằng 0,5. Giá trị của hàm định mức trong dầu (miền  $\Omega_1$ ) và nước (miền  $\Omega_2$ ) lần lượt là  $0,5 < \Phi \leq 1$  và  $0 \leq \Phi < 0,5$ .

## KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

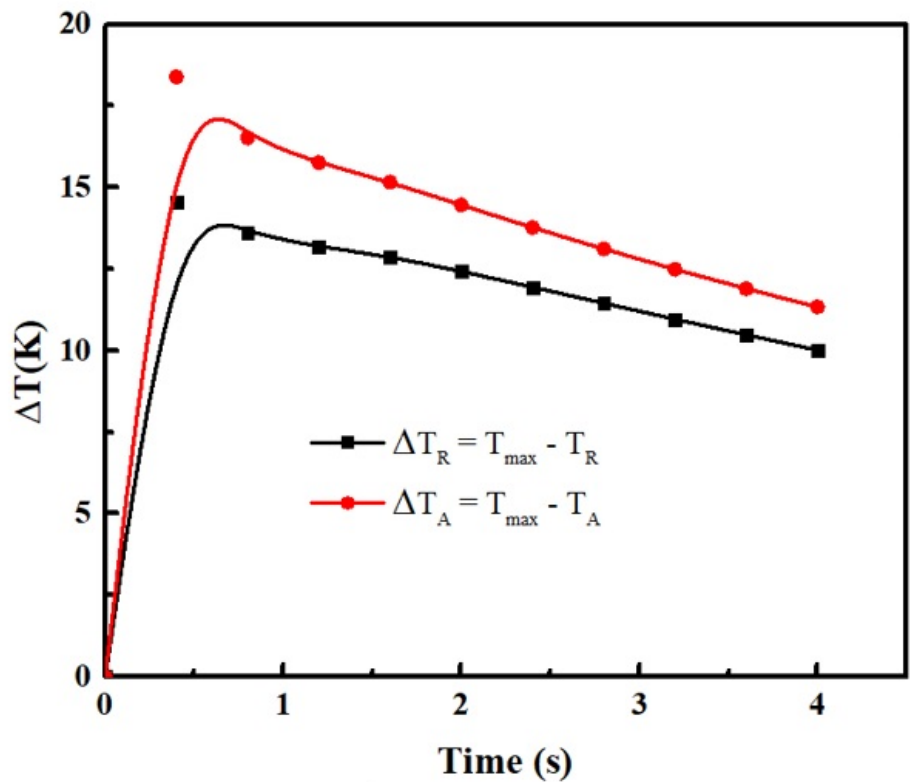
Giọt nước ban đầu được đặt trong kênh dẫn vi lưu có góc tiếp xúc  $\theta = 90^\circ$ ,  $T_a = 298$  K,  $L = 0.55$  mm và  $h_m = 0.55$  mm. Hình 2 thể hiện sự biến hóa của những đường dòng và đường đẳng nhiệt theo thời gian trong trường hợp  $b_s = 1$  nm,  $W = 10$  mm và  $H = 1$  mm. Ở đây, nhiệt độ ở cả biên trên và biên dưới của mô hình vật lý được thiết lập bằng với nhiệt độ môi trường bên ngoài. Nguồn nhiệt với công suất 40 mW được đặt tại vị trí cách vị trí ban đầu của giọt nước khoảng 1 mm. Sự cân bằng sức căng bề mặt dọc bề mặt phân cách giữa hai pha lưu chất tạo nên hai dòng xoáy bên trong và bên ngoài giọt chất lỏng. Sức mạnh tổng hợp của những dòng xoáy bên phía nhiệt độ cao (bên trái) lớn hơn những dòng xoáy bên phía nhiệt độ thấp (bên phải) bởi vì ở bên trái của giọt chất lỏng có độ biến thiên nhiệt độ cao hơn. Sự chênh lệch moment mao dẫn nhiệt bên trong giọt nước làm cho giọt nước dịch chuyển từ vùng nhiệt độ cao đến vùng nhiệt độ thấp. Ngoài ra, sự dịch chuyển dòng dầu bên trong kênh dẫn cũng ảnh hưởng mạnh đến khả năng dịch chuyển của giọt nước. Ở thời điểm ban đầu, dòng xoáy mao dẫn nhiệt phía trước giọt nước có kích cỡ và cường

độ nhỏ. Năng lượng nhiệt phát ra từ nguồn nhiệt sẽ truyền từ vị trí đặt nguồn nhiệt đến tác động vào giọt nước. Khi thời gian tăng lên, kích cỡ và cường độ của dòng xoáy mao dẫn nhiệt bên trái lớn dần lên. Nhưng ngược lại, kích cỡ và cường độ của dòng xoáy mao dẫn nhiệt giảm dần ở bên phải. Đường đẳng nhiệt bên trong giọt nước bị uốn cong do hiện tượng đối lưu mao dẫn nhiệt. Sự phân bố nhiệt độ trong vùng dầu gần nguồn nhiệt là những vòng tròn đồng tâm và khuếch tán đến vùng giọt nước. Đường đẳng nhiệt sẽ bị bẻ cong khi nó chạm vào giọt nước. Nhiệt độ cao nhất của giọt nước luôn luôn xuất hiện bên trên bề mặt phân cách giữa nước và dầu trong suốt quá trình chuyển động của giọt nước trong kênh dẫn.

Độ biến thiên nhiệt độ phía trước ( $\Delta T_R$ ) và sau ( $\Delta T_A$ ) bên trong giọt chất lỏng được thể hiện trong hình 3. Độ biến thiên nhiệt độ phía trước là  $\Delta T_R = T_{max} - T_R$ , độ biến thiên nhiệt độ phía sau là  $\Delta T_A = T_{max} - T_A$ . Trong đó,  $T_{max}$  là nhiệt độ lớn nhất của giọt nước,  $T_R$  và  $T_A$  là nhiệt độ phía trước và phía sau tại điểm tiếp xúc của giọt nước. Kết quả cho thấy độ biến thiên nhiệt độ tăng nhanh trong giai đoạn ban đầu và sau đó giảm dần theo thời gian. Vì thế, ảnh hưởng của đối lưu mao dẫn nhiệt đến giọt nước cũng tăng trong



**Hình 2:** (a) Đường dòng và (b) đường đẳng nhiệt bên trong kênh dẫn micro trong trường hợp  $bs = 1 \text{ nm}$ ,  $\theta = 900$ ,  $W = 10 \text{ mm}$  và  $H = 1 \text{ mm}$ .



**Hình 3:** Độ biến thiên nhiệt độ phía trước và sau bên trong giọt chất lỏng trong trường hợp  $bs = 1 \text{ nm}$ ,  $\theta = 900$ ,  $W = 10 \text{ mm}$  và  $H = 1 \text{ mm}$ .

giai đoạn đầu và giảm liên tục theo thời gian. Độ biến thiên nhiệt độ phía trước luôn luôn nhỏ hơn độ biến thiên độ biến thiên nhiệt độ phía sau giọt chất lỏng. Vì vậy, lực mao dẫn nhiệt sẽ có tác động đẩy giọt chất lỏng di chuyển trong kênh dẫn vi lưu.

Sự thay đổi vị trí của giọt nước trong kênh dẫn theo thời gian trong trường hợp  $b_s = 1 \text{ nm}$ ,  $\theta = 90^\circ$ ,  $W = 10 \text{ mm}$  và  $H = 1 \text{ mm}$  được thể hiện trong hình 4a. Trong khi đó, hình 4b thể hiện quy luật chuyển động của giọt chất lỏng theo thời gian. Kết quả mô phỏng cho thấy vận tốc giọt chất lỏng tăng đáng kể trong giai đoạn đầu và sau đó giảm mạnh theo thời gian. Theo nghiên cứu của Le và nhóm nghiên cứu<sup>7-9</sup> thì tính chất chuyển động của giọt chất lỏng phụ thuộc vào sự chênh lệch moment mao dẫn nhiệt bên trong giọt chất lỏng.

Hình 5 biểu diễn sự chênh lệch áp suất ở hai phía của giọt chất lỏng ( $\Delta P = P_w - P_o$ ) và sự thay đổi của góc tiếp xúc giọt chất lỏng trong quá trình dịch chuyển trong kênh dẫn vi lưu. Sự chênh lệch áp suất ở phía trước giọt chất lỏng ( $\Delta P_R$ ) mang giá trị âm nhưng ở phía sau ( $\Delta P_A$ ) lại mang giá trị dương. Góc tiếp xúc động lực học của giọt nước thay đổi liên tục trong quá trình nó dịch chuyển trong kênh dẫn vi lưu. Góc tiếp xúc này phụ thuộc nhiều vào sự chênh lệch áp suất tác dụng lên bề mặt phân cách của giọt nước. Kết quả cho thấy, góc tiếp xúc phía trước ( $RCA$ ,  $\theta_R$ ) giảm mạnh trong giai đoạn đầu và sau đó tăng đáng kể trong khi góc tiếp xúc phía sau ( $ACA$ ,  $\theta_A$ ) thì ngược lại, nghĩa là, góc tiếp xúc phía sau tăng đáng kể trong giai đoạn đầu và sau đó giảm dần theo thời gian. Trong suốt quá trình chuyển động của chất lỏng trong kênh dẫn, góc tiếp xúc phía sau luôn luôn lớn hơn góc tiếp xúc phía trước do độ lớn chênh lệch áp suất phía sau nhỏ hơn độ lớn chênh lệch áp suất phía trước. Bởi vì  $\theta_A > 90 > \theta_R$  và  $\sigma_A > \sigma_R$ ,  $\sigma_A \cos \theta_A - \sigma_R \cos \theta_R < 0$  nên lực mao dẫn do chênh lệch áp suất sẽ cản trở sự chuyển động của chất lỏng trong kênh dẫn vi lưu. Đó là lý do vì sao vận tốc giọt chất lỏng giảm dần một khi thời gian dịch chuyển đủ lớn.

## KẾT LUẬN

Sự di chuyển mao dẫn nhiệt của giọt chất lỏng trong kênh dẫn vi lưu đã được nghiên cứu bằng các phương pháp số. Điều kiện nhiệt độ ban đầu ở thành trên và thành dưới của kênh dẫn bằng với nhiệt độ môi trường. Giọt chất lỏng sẽ bắt đầu chuyển động một khi ta sử dụng nguồn nhiệt laser phát ra ở vị trí cách giọt chất lỏng 1mm. Kết quả mô phỏng cho thấy tính chất chuyển động của chất lỏng chịu ảnh hưởng mạnh bởi nguồn nhiệt laser phát ra. Đầu tiên, chất lỏng tăng tốc để đạt giá trị vận tốc lớn nhất. Sau đó, vận tốc giảm dần theo thời gian. Trong quá trình lưu chất chuyển động, có một cặp dòng xoáy mao dẫn nhiệt bên trong

giọt chất lỏng và một cặp khác ở bên ngoài gần bề mặt chất lỏng. Đường đẳng nhiệt bên trong chất lỏng có hình dạng uốn cong do sự đối lưu mao dẫn nhiệt. Góc tiếp xúc động lực học của giọt nước thay đổi liên tục trong suốt quá trình nó di chuyển trong kênh dẫn vi lưu do độ chênh lệch áp suất tác dụng lên bề mặt phân cách giữa giọt nước và dung môi dầu. Góc tiếp xúc động lực học phía sau của giọt nước thì luôn luôn lớn hơn góc tiếp xúc phía trước khi giọt nước dịch chuyển.

## DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

LOC: Lab-on-a Chip

MEMS: Micro-Electro-Mechanical System

ALE: Arbitrary Lagrangian Eulerian

RCA: Receding Contact Angle

ACA: Advancing Contact Angle

## XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Tác giả xác nhận không có xung đột lợi ích liên quan đến công trình nghiên cứu.

## ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

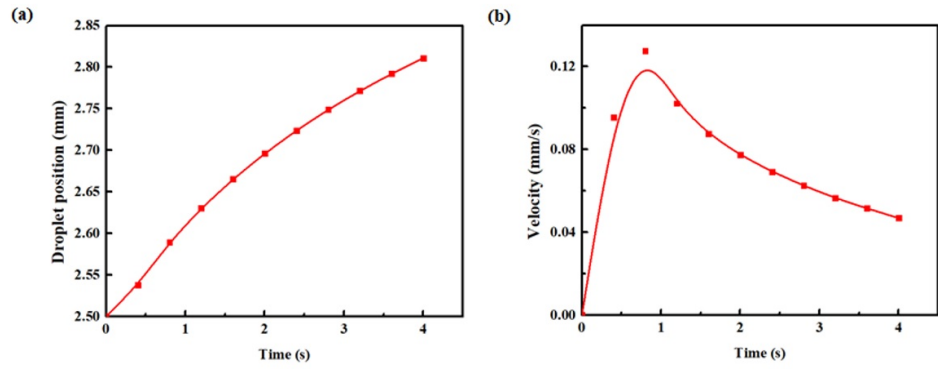
Tác giả thực hiện nghiên cứu dựa trên mô phỏng số để giải thích cơ chế chuyển động của lưu chất trong kênh dẫn vi lưu.

## LỜI CẢM ƠN

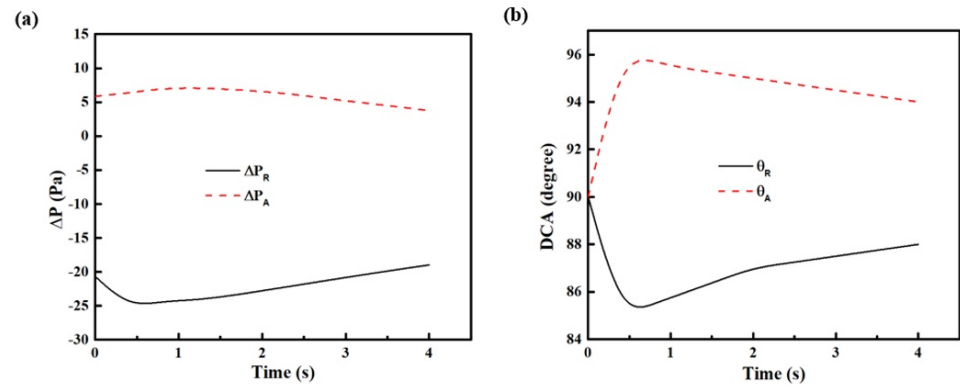
Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Haeberle S, Zengerle R. Microfluidic platforms for lab-on-a-chip applications. *Lab Chip*. 2007;7:1094–1110. PMID: 17713606. Available from: <https://doi.org/10.1039/b706364b>.
2. Damean N, Regtien PPL, Elwenspoek M. Heat transfer in a MEMS for microfluidics. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2003;105:137–149. Available from: [https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(03\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(03)00100-6).
3. Song H, Bringer MR, Tice JD, Gerds CJ, Ismagilov RF. Experimental test of scaling of mixing by chaotic advection in droplets moving through microfluidic channels. *Applied Physics Letter*. 2003;83:4664–4666. PMID: 17940580. Available from: <https://doi.org/10.1063/1.1630378>.
4. Brochard F. Motions of droplets on solid surfaces induced by chemical or thermal gradients. *Langmuir*. 1989;5:432–438. Available from: <https://doi.org/10.1021/la00086a025>.
5. Anantharaju N, Panchagnula MV, Vedantam S. S. three-phase contact line topology on dynamic contact angle on heterogeneous surface. *Langmuir*. 2007;23:11673–11676. PMID: 17935366. Available from: <https://doi.org/10.1021/la702023e>.
6. Ford ML, Nadim A. Thermocapillary migration of an attached drop on a solid surface. *Phys Fluids*. 1994;6:3183–3185. Available from: <https://doi.org/10.1063/1.868096>.
7. Le TL, Chen JC, Shen BC, Hwu FS, Nguyen HB. Numerical investigation of the thermocapillary actuation behavior of a droplet in a microchannel. *Int J Heat Mass Transfer*. 2015;83:721–730. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.12.056>.



Hình 4: (a) Vị trí và (b) vận tốc giọt chất lỏng trong trường hợp  $bs = 1 \text{ nm}$ ,  $\theta = 90^\circ$ ,  $W = 10 \text{ mm}$  và  $H = 1 \text{ mm}$



Hình 5: (a) Độ chênh lệch áp suất ở phía trước và sau giọt nước; (b) góc tiếp xúc động lực học trong trường hợp  $bs = 1 \text{ nm}$ ,  $\theta = 90^\circ$ ,  $W = 10 \text{ mm}$  và  $H = 1 \text{ mm}$ .

8. Le TL, Chen JC, Hwu FS, Nguyen HB. Numerical study of the migration of a silicone plug inside a capillary tube subjected to an unsteady wall temperature gradient. *Int J Heat Mass Transfer*. 2016;97:439–449. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.11.098>.
9. Le TL, Chen JC, Nguyen HB. Numerical study of the thermocapillary droplet migration in a microchannel under a blocking effect from the heated wall. *Appl Thermal Eng*. 2017;122:820–830. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.073>.
10. Vincent MRS, Wunenburger R, Delville JP. Laser switching and sorting for high speed digital microfluidics. *Applied Physics Letters*. 2008;92:154105. Available from: <https://doi.org/10.1063/1.2911913>.
11. Brackbill JU, Kothe DB, Zemach C. A continuum method for modeling surface tension. *J Comp Phys*. 1991;100:335–354. Available from: [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(92\)90240-Y](https://doi.org/10.1016/0021-9991(92)90240-Y).
12. Chen JC, Kuo CW, Neitzel GP. Numerical simulation of thermocapillary nonwetting. *Int J Heat Mass Transfer*. 2006;49:4567–4576. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.04.033>.
13. Tabeling P. Investigating slippage, droplet breakup, and synthesizing microcapsules in microfluidic system. *Phys Fluids*. 2010;22:021302. Available from: <https://doi.org/10.1063/1.3323086>.
14. J. Koplik, J. R. Banavar, and J. F. Willemsen, Molecular dynamics of fluid flow at solid surfaces. *Phys Fluids A*. 1989;1:781–794. Available from: <https://doi.org/10.1063/1.857376>.
15. Olsson E, Kreiss G. A conservative level set method for two phase flow. *J Comput Phys*. 2005;210:225–246. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2005.04.007>.
16. Olsson E, Kreiss G, Zahedi S. A conservative level set method for two phase flow II. *J Comput Phys*. 2007;225:785–807. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2006.12.027>.

# Study of Fluids Motion in a Microchannel under Heat Source

Le Thanh Long<sup>1,2,3,\*</sup>



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

## ABSTRACT

In this study, the numerical computation is used to investigate the transient thermocapillary migration of a water droplet in a Microchannel. For tracking the evolution of the free interface between two immiscible fluids, we employed the finite element method with the two-phase level set technique to solve the Navier-Stokes equations coupled with the energy equation. Both the upper wall and the bottom wall of the microchannel are set to be an ambient temperature. The heat source is placed at the left side of a water droplet. When the heat source is turned on, a pair of asymmetric thermocapillary convection vortices is formed inside the droplet and the thermocapillary on the receding side is smaller than that on the advancing side. The temperature gradient inside the droplet increases quickly at the initial times and then decreases versus time. Therefore, the actuation velocity of the water droplet first increases significantly, and then decreases continuously. The dynamic contact angle is strongly affected by the oil flow motion and the net thermocapillary momentum inside the droplet. The advancing contact angle is always larger than the receding contact angle during actuation process.

**Key words:** Numerical simulation, thermocapillary migration, surface tension, heat source, microchannel

<sup>1</sup>Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet, District 10, HCM City, Vietnam

<sup>2</sup>Key Laboratory of Digital Control and System Engineering (DCSELab), HCMUT, 268 Ly Thuong Kiet, District 10, HCM City, Vietnam

<sup>3</sup>Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Vietnam

## Correspondence

**Le Thanh Long**, Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet, District 10, HCM City, Vietnam

Key Laboratory of Digital Control and System Engineering (DCSELab), HCMUT, 268 Ly Thuong Kiet, District 10, HCM City, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: ltlong@hcmut.edu.vn

## History

- Received: 29-3-2019
- Accepted: 25-4-2019
- Published: 31-12-2019

DOI :10.32508/stdjet.v2iS12.492



**Cite this article :** Long L.T. **Study of Fluids Motion in a Microchannel under Heat Source.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 2(S12):SI137-SI143.