



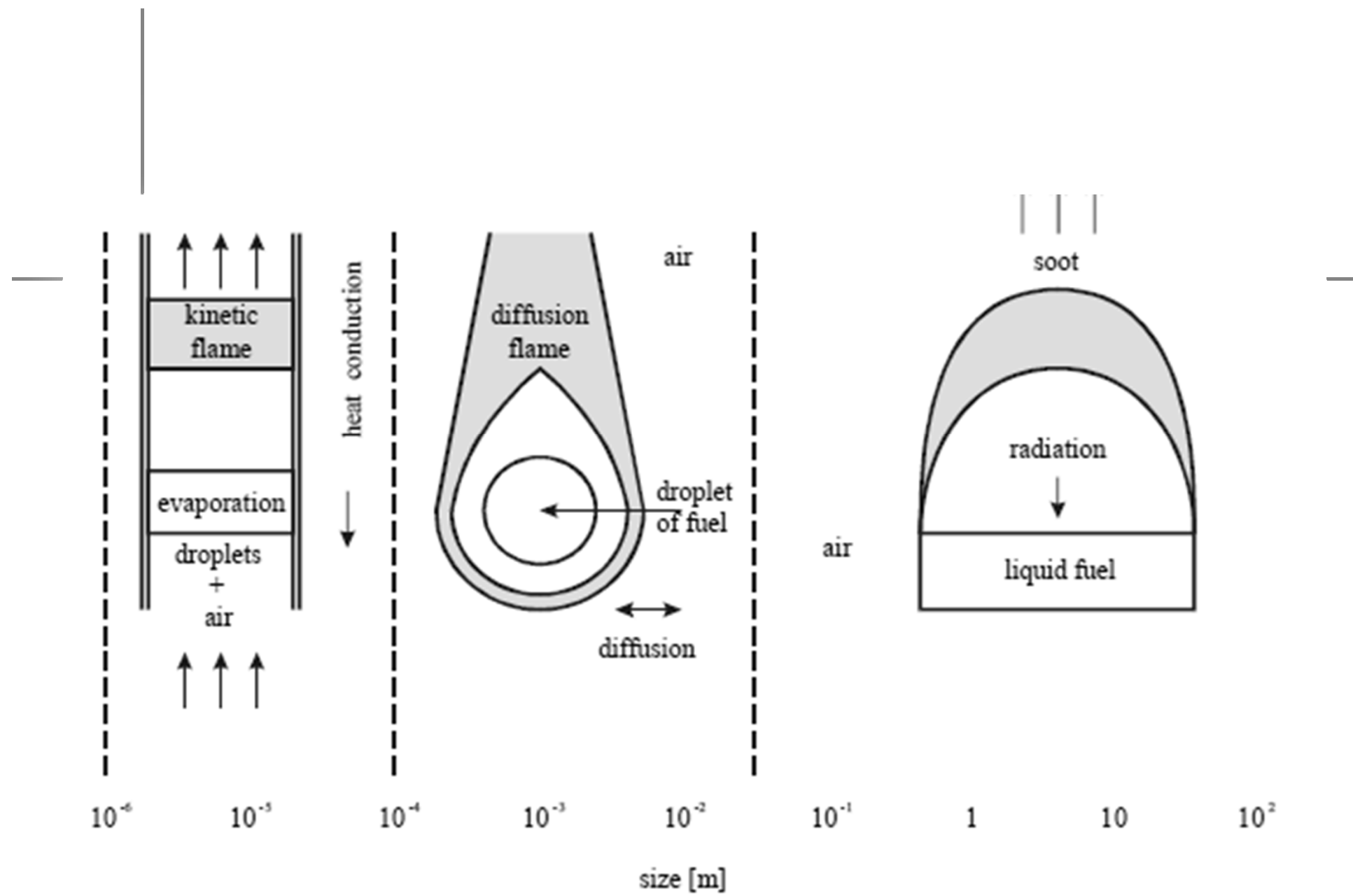
Сагоревање течних горива

Паљење течног горива

- Температура паљења течног горива
- Температура горења течног горива
- Температура самопаљења течног горива

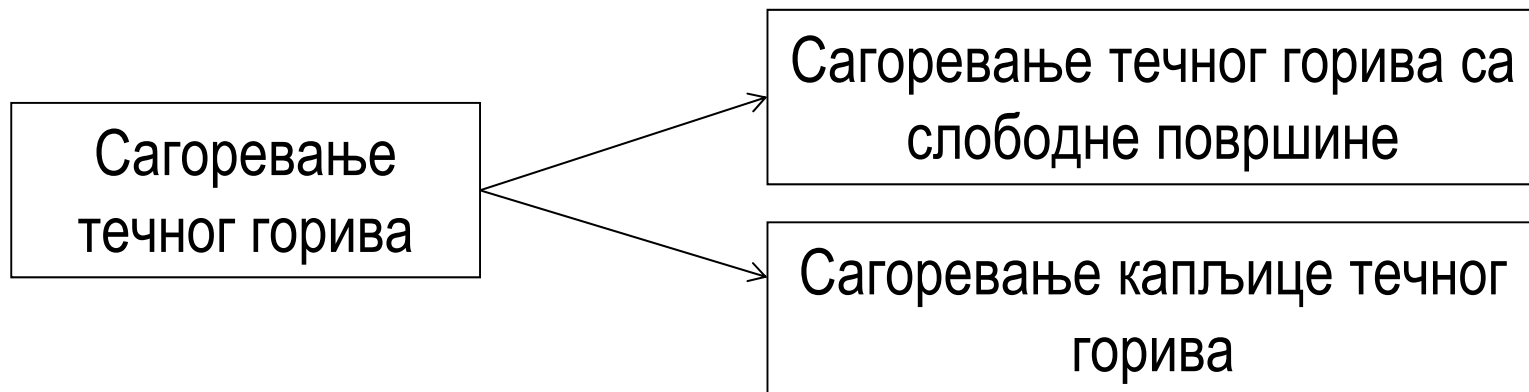
Механизми сагоревања течног горива

- Сагоревање течног горива одиграва се само у парној фази (хомогено сагоревање)
 - пример за бензин: $t_{\text{kljucanja}} = 493 \text{ K}$, $t_{\text{paljenja}} = 683-773 \text{ K}$
- Хомогено сагоревање → хемијски процес, брзина зависи од брзине хомогених хемијских реакција
- Хетероген процес → физички процес, брзина зависи од брзине испаравања (брзина испаравања зависи од брзине довођења топлоте на површину течности)
- При загревању пара течних горива долази и до њиховог термичког разлагања и парцијалне оксидације



Сагоревање течног горива

- Механизам сагоревања течних горива састоји се из следећих фаза:
 - Загревања и испаравања течног горива
 - Термичког разлагања и парцијалне оксидације
 - Образовања смеше пара горива и ваздуха
 - Паљења и сагоревања гасовите смеше



Сагоревање течног горива са слободне површине

- Изнад површине се образује пламен
- После паљења успоставља се стационаран режим сагоревања – константна брзина опадања нивоа течности
- Најспорија фаза је фаза испаравања
- Стационарна расподела температуре по дебљини слоја течности
- На површини температура одговара температури кључања

Сагоревање течног горива са слободне површине

- Дифузионо сагоревање
- Пламен је јако луминисцентан
- Пренос топлоте од пламена на течност одвија се зрачењем јер је одавање топлоте провођењем отежано због кретања пара горива навише

Сагоревање течног горива са слободне површине

- Брзина испаравања
 - Почетна температура горива
 - Температура кључања
 - Латентна топлота испаравања
 - Специфична топлота

Сагоревање капљице течног горива

- Посматра се сагоревање фино распршених капљица течног горива
- Полази се од разматрања сагоревања појединачне капљице горива
- Дифузиони процес сагоревања

Физички модел сагоревања капљице горива

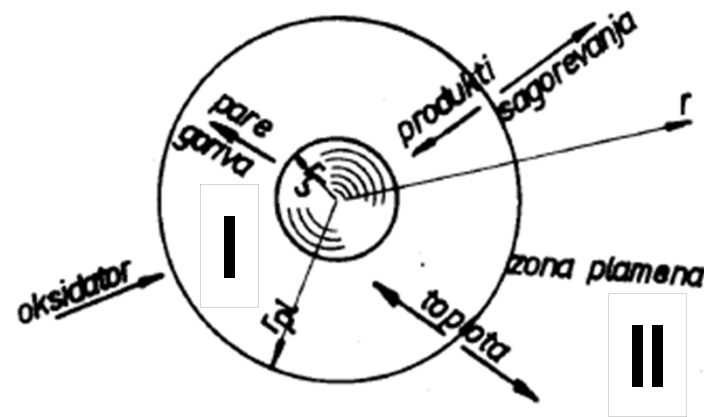
- Сферна симетрија
- Процес је квазистационаран
- Занемарују се принудна и природна конвекција
- Занемарљив је утицај суседних капљица
- Процес је изобарни
- Температура је униформна у целој капљици

Физички модел сагоревања капљице горива

- $D = \text{const.}$
- $c_p = \text{const}$
- $\lambda = \text{const}$
- $Le = \text{const}$ (Луисов број)
- Сагоревање се одвија у зони мале дебљине
- Сагоревање се одвија у зони мале дебљине, јер је брзина сагоревања већа од брзине дифузије
- Нема акумулације горива у простору између капљице и пламена

$$Le = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p \cdot D}$$

Сагоревање капљице течног горива

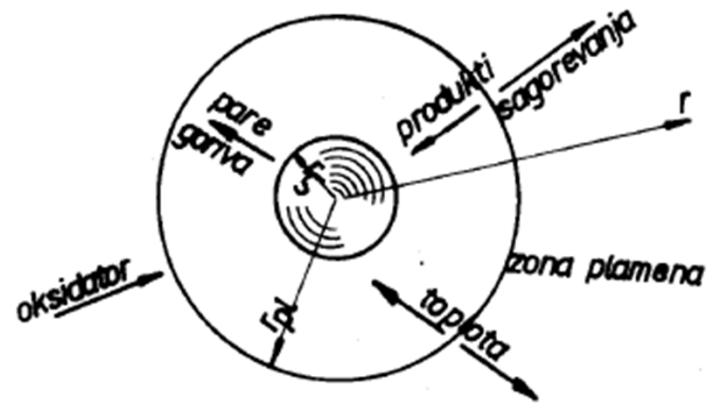


При сагоревању капљице горива могу се дефинисати две карактеристичне области:

I област – између капљице и пламена $r_s < r < r_{pl}$, - присутне су паре горива и продукти сагоревања

II област – ван пламена $r_{pl} < r < \infty$ - присутни су ваздух и продукти сагоревања

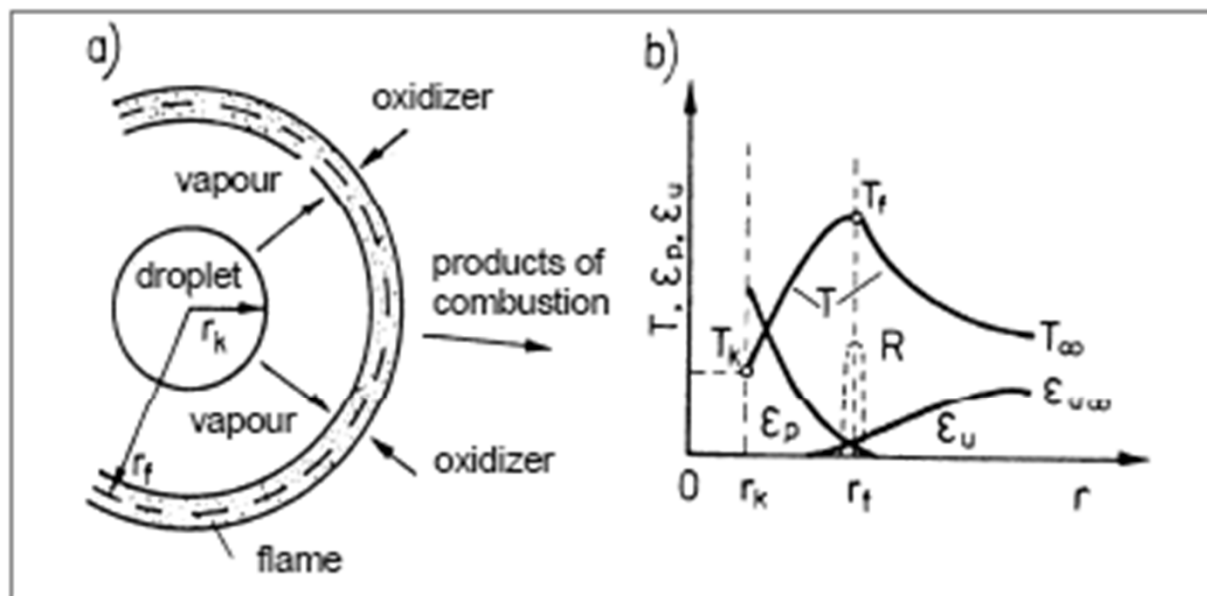
Сагоревање капљице течног горива



За исправање горива и загревање пара горива топлота се доводи из зоне пламена.

Паре горива се крећу према фронту пламена, а ваздух из околине дифузијом се креће ка фронту пламена.

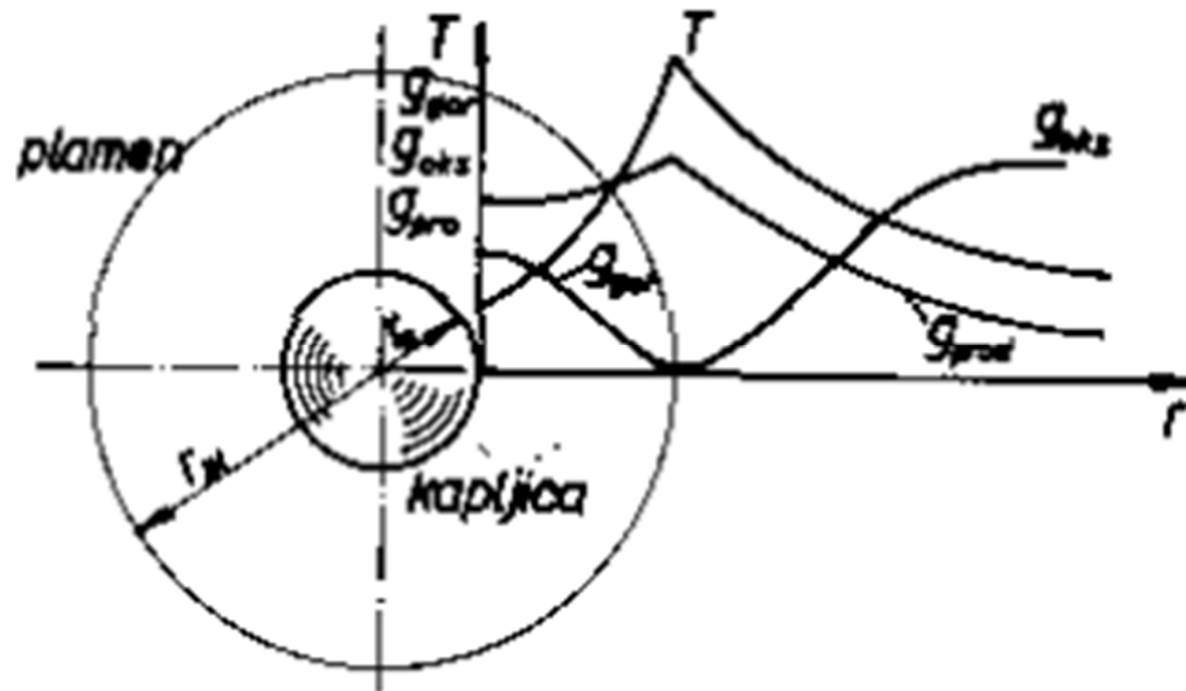
Продукти сагоревања се из зоне пламена дифузијом транспортују према капљици и у околну атмосферу.



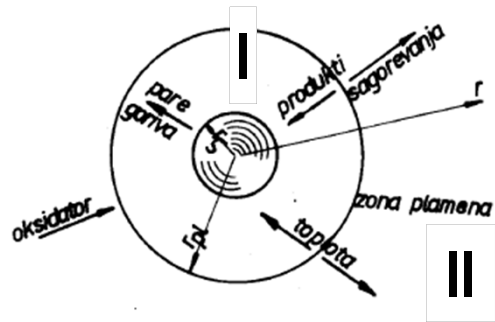
$$\tau_s = kd_0^2$$

Diffusion model of single oil droplet combustion:
 a) flame geometry, b) temperature and fuel C_f / oxygen C_{O_2} content

Сагоревање капљице течног горива



Сагоревање капљице течног горива



I област – $r_s < r < r_{pl}$

једначина континуитета

закон о конзервацији енергије

II област – $r_{pl} < r < \infty$

закон о конзервацији оксидатора

закон о конзервацији енергије

Сагоревање капљице течног горива

I област – $r_s < r < r_{pl}$

једначина континуитета

$$\dot{m} = \text{const}$$

$$\frac{d\dot{m}}{dr} = 0$$

закон о конзервацији енергије

$$4 \pi r^2 \lambda \frac{dT}{dr} = \dot{m} C_p (T - T_s) + \dot{m} Q_L$$

топлота која се доводи из околине

= загревање пара горива

+ топлота потребна за загревање и испаривање капљице

$$Q_L = Q_{L1} + Q_{L2}$$

↓ ↓
загр. + испар. загр. + испар.
капљице капљице

Сагоревање капљице течног горива

II област $-r_{pl} < r < \infty$

закон о конзервацији оксидатора

$$G g_{oks} - D \rho \frac{d g_{oks}}{dr} = - \psi' G$$

закон о конзервацији енергије

$$4\pi r^2 \lambda \frac{dT}{dr} + m\dot{H} = m C_p (T - T_s) + m Q_L$$

toplota pre- data konduk- cijom → oslob. toplota pri sa- gorev. = zagreva- nje gasa + toplota potrebna za zagrevanje i isparavanje kapljice

Сагоревање капљице течног горива

Сполдинггов број (обухвата и испаривање и сагоревање)

$$B = \frac{c_p (T_\infty - T_s) + H g_{oks(\infty)} / \psi}{Q_L}$$

Gorivo	B
Motorni benzin	5,3
Gorivo za mlazne motore	3,4
Dizel-gorivo	2,5
Teško ulje za loženje	1,7

Сагоревање капљице течног горива

Сполдинггов број (само испаривање, без сагоревања)

$$B = \frac{c_p (T_\infty - T_s)}{Q_L}$$

~~$$B = \frac{c_p (T_\infty - T_s) + H g_{okz(\infty)}/\psi}{Q_L}$$~~

Сагоревање капљице течног горива

Сполдинггов број (само испаривање, без сагоревања)

$$B = \frac{c_p (T_\infty - T_s)}{Q_L}$$

~~$$B = \frac{c_p (T_\infty - T_s) + H g_{okz(\infty)}/\psi}{Q_L}$$~~

Брзина горења капљице

- Линеарна зависност од:
 - величине капљице (полупречни/пречник капљице),
 - густине гаса
 - коефицијента дифузије
- Логаритамска зависност – коефицијент B и утицај није велики (40% већа брзина горења у атмосфери кисеоника у односу на брзину у атмосфери ваздуха)

Врема сагоревања капљице

$$d_s^2 = d_{s0}^2 - kt \quad d^2 \text{ закон испаравања тј. сагоревања}$$

$$K = \frac{8 \rho D}{\rho_{\text{gor}}} \ln(1 + B) \quad \text{константа испаравања}$$

$$t = \frac{d_{s0}^2}{K} = \frac{d_{s0}^2 \rho_{\text{gor}}}{8 \rho D \ln(1 + B)}$$

$$t = d_{s0}^2 \cdot 10^6 \quad |s| \quad \text{за угљоводонична горива при сагоревању у ваздуху}$$

Положај пламена

$$\frac{r_{pl}}{r_s} = \frac{\ln(1 + B)}{\ln(1 + g_{oks(\infty)}/\psi)} \approx 1 + \frac{\ln[1 + C_p(T_{pl} - T_s)/Q_L]}{\ln(1 + g_{oks(\infty)}/\psi)}$$

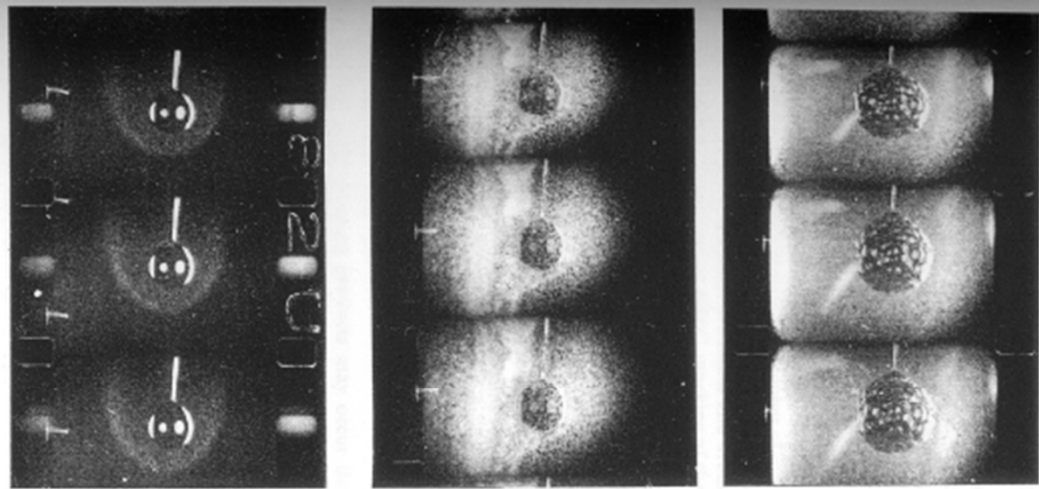
$$B = 1,7-7$$

$$G_{oks\infty} = 0,23$$

$$\psi > 1$$

$$r_{pl} / r_s \gg 1$$

$$r_{pl} / r_s \approx 30$$

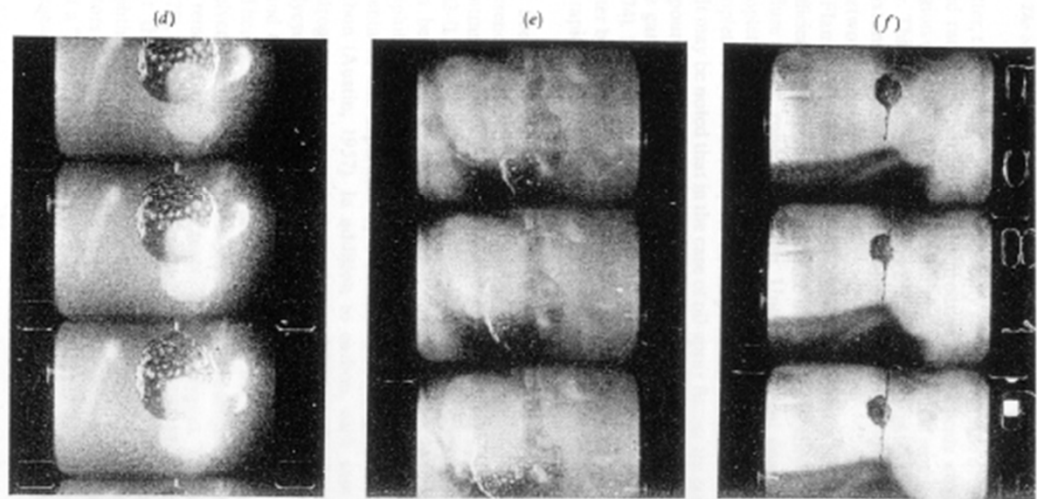


120 ms

300 ms

400 ms

(a) Initial evaporation (120 ms); (b) advanced evaporation (300 ms); (c) flame initiated boiling commences (400 ms).



(d)

(e)

(f)

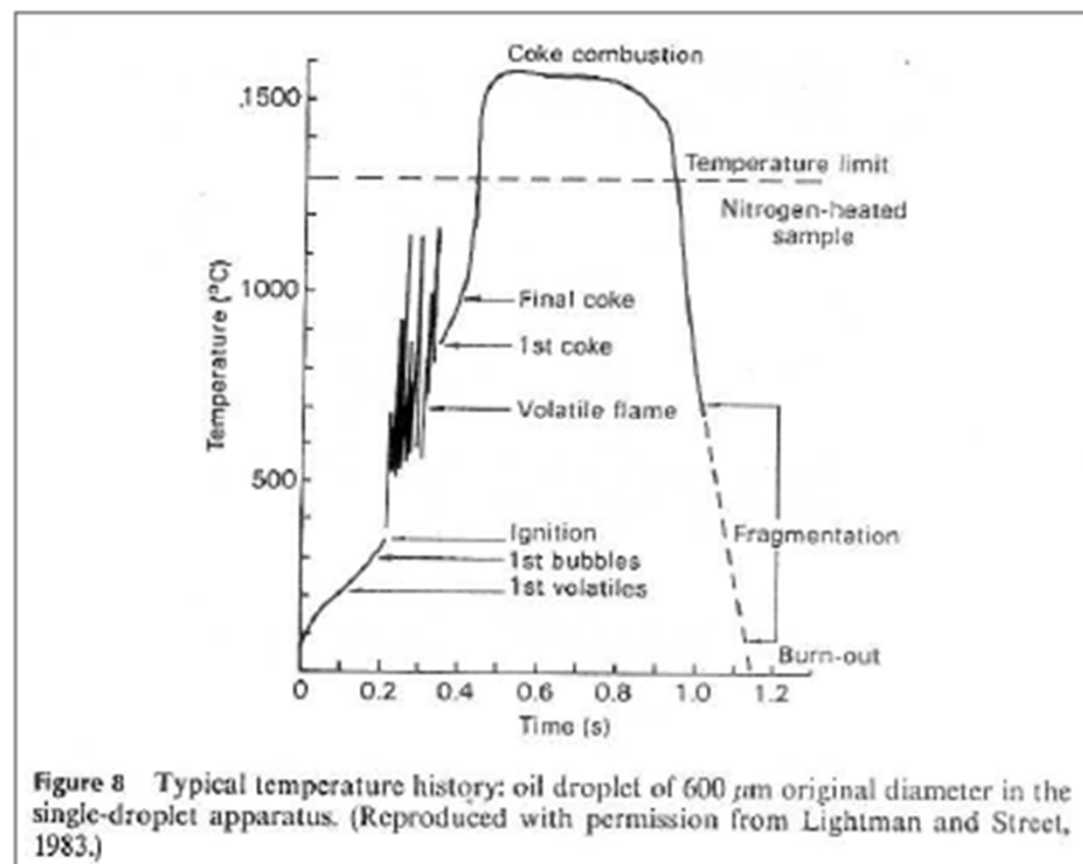
480 ms

520 ms

550 ms

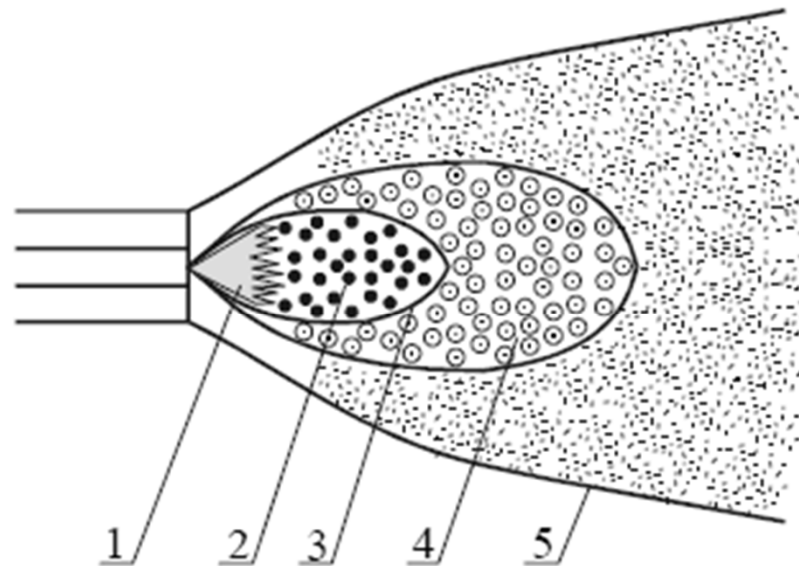
(d) Satellite formation (480 ms); (e) maximum swelling (520 ms); (f) initial coke formation (550 ms)

TEMPERATURE HISTORY OF A SINGLE DROPLET BURNING



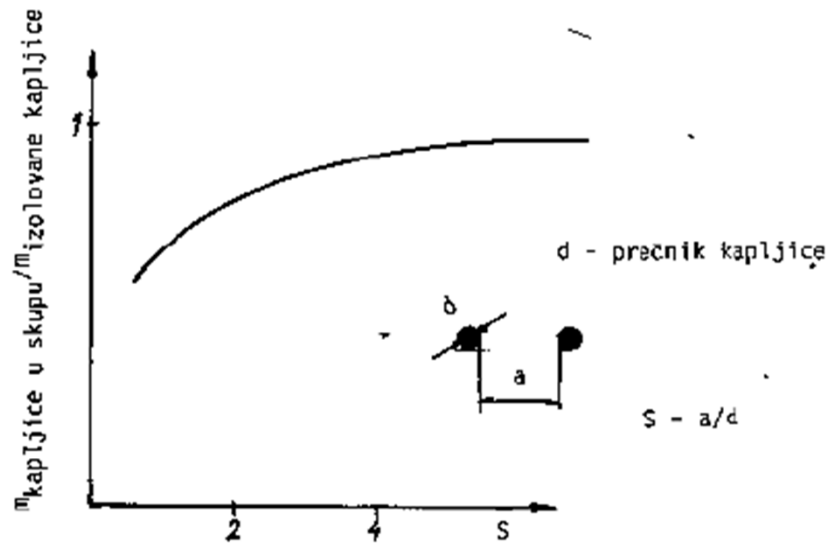
Сагоревање скупа капљице

STRUCTURE OF SPRAYED OIL FLAME



1 - stream of sprayed fuel, 2- zone of evaporation, 3 - zone of ignition,
4 - zone of combustion of individual droplets, 5 - boundary of flame

Сагоревање скупа капљице



$$SMD = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2}$$

$S=25$

