

Защо облаците не падат?

Наистина, в облаците водата не е в газообразно състояние – те са съставени от малки водни капки. Плътноста на капките е примерно 1000 пъти по-голяма от плътността на въздуха, действащата им Архимедова сила е пренебрежимо малка спрямо силата на тежестта, така че те, а това означава – и целият облак, според законите на физиката, би трябвало да падат към Земята!

Въпросът е интересен, защото се отнася за явление, което наблюдаваме едва ли не всекидневно. Отговорът му, за съжаление, излиза съвсем малко от рамките на общо-задължителната подготовка по физика в училище. Може би необходимите за целта знания ще намерят място при разширеното изучаване на физика в 11. и 12. клас...

Ако пренебрегнем вертикалната компонента на въздушните течения, движението на една водна капка с маса m се определя от две сили: от насочената надолу сила на тежестта mg (g – земното ускорение) и от силата на съпротивлението на въздуха. Нека една неподвижна капката в даден момент започне да пада. Когато радиусът r на капката не е много голям (по-късно ще установим граница за големината му), в началото на движението на нея действа насочена нагоре и постепенно увеличаваща се стоксова съпротивителна сила с големина $6\pi\eta r v$, където η е вискозитетът на въздуха, а v – скоростта на движение. Ускоряването на капката спира в момента, в който големините на двете сили се изравнят. От формулите за големините на силите и условието за равенство на големините им получаваме уравнение за търсената стационарна скорост на падане на капката. От това уравнение, като отчетем, че масата на *сферична* капка е $\rho \frac{4}{3}\pi r^3$ (тук ρ е плътността на водата), за въпросната скорост получаваме израза:

$$v = \frac{2}{9} g \frac{\rho}{\eta} r^2.$$

Като вземем предвид стойностите на константите ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\eta = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$), за числения коефициент пред r^2 получаваме $1,25 \cdot 10^8 (\text{m.s})^{-1}$, така че като функция от радиуса на капката стационарната скорост се описва с формулата:

$$v = 1,25 \cdot 10^8 r^2 \text{ m/s.}$$

По тази формула пресмятаме, че капка с радиус 10^{-6} m пада със скорост $1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, което означава, че за денонощие доближава земната повърхност с по-малко от 11 m! Дали такова движение може да се нарече падане е вече въпрос на договаряне... (Капки с радиус под 10^{-6} m във въздуха не се виждат, така че колкото и голямо да е количеството им, те не се възприемат като облаци.)

Капка с 10 пъти по-голям радиус пада със 100 пъти по-голяма скорост – това е от порядъка на mm/s (малко повече от километър на ден) и, не без известно натягане, може да се смята за забележима скорост. Като се отчете фактът, че вертикалните компоненти на въздушните течения, зависещи от нагриването на приземните въздушни пластове и от разнообразието на релефа на земята, са като правило по-големи от mm/s, ясно е, че и в този случай приближаването на облака към земната повърхност не се определя от тежестта на капките.

И така, отговорът на въпроса, поставен в заглавието, е: формално погледнато, облаците падат, но падането им е толкова бавно, че фактически или не се забелязва, или се маскира от въздушните течения.

Направените разсъждения обаче не могат да се прилагат за все по-едри капки. Ако приложим получената формула за капка с радиус 0,1 mm, ще получим, че тя трябва да пада със скорост около 1 m/s. Числото на Рейнолдс ($Re = \rho_0 v \frac{r}{\eta}$, където $\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$ е плътността на въздуха) за такава капка вече значително надминава единица, което

означава, че съпротивлението на въздуха е пропорционално не на скоростта, а на квадрата ѝ. В този случай големината на съпротивителната сила се определя не от закона на Стокс, а от формулата:

$$F_c = \frac{1}{2} \rho_0 C \pi r^2 v^2,$$

където за сфера коефициентът на съпротивление е $C = 1,2$. Като приравним този израз към силата на тежестта на капката и решим полученото уравнение, за стационарната скорост на падане получаваме изрази:

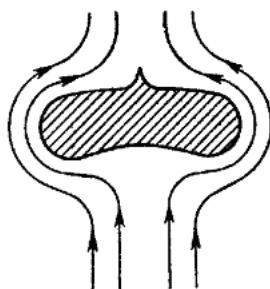
$$v = \sqrt{\frac{8}{3} \frac{\rho}{\rho_0} \frac{g}{C} r}.$$

След заместване на числените стойности на константите за скоростта като функция от радиуса получаваме формулата:

$$v = 1,36 \cdot 10^2 \sqrt{r},$$

т.е. скоростта на падане на големите капки расте с радиуса по-бавно, отколкото при малките капки. По тази формула например капка с радиус 0,1 mm пада със скорост, малко по-голяма от 1 m/s (което означава, че вали дъжд), а капка с радиус 1 mm – със скорост 4,3 m/s.

И последната зависимост обаче не може да се прилага за произволно големи капки – оказва се, че когато радиусът на капката надмине 5 mm, въздушното съпротивление я разбива на по-малки капки, които, съответно, падат по-бавно.



Във всички разсъждения дотук смятахме, че падащата капка запазва сферичната си форма – едно приближение, което с увеличаване големината на капката става все по-грубо. На фигурата е показана реалната форма на падаща голяма капка. Прави впечатление огромната разлика от онази форма, която обикновено наричаме *капкообразна* – издължената форма на току що откъснала се от края на тясна тръбичка водна капка, преди да е достигнала стационарната си скорост. Реалната форма се дължи на факта, че поради по-голямата относителната скорост на въздушната струя непосредствено встрани от капката налягането там е по-малко (закон на Бернули) и това води до увеличаване напречните размери на капката. Освен това намаленото въздушно налягане в задната страна на капката предизвиква определено удължение на формата ѝ.

Всички дотук приведени разсъждения са коректни, но поставят и един проблем, свързан с историята на физиката. Както е известно, за пръв път младият Галилей (тогава още студент по медицина) се усъмнява в твърдението на Аристотел, че тежките тела падат по-бързо от леките, обръщайки внимание на факта, че когато започне градушка, ледените зърна с различна големина достигат земята едновременно. За да бъде Аристотел прав, два пъти по-тежките зърна трябва да се образуват на два пъти по-голяма височина, три пъти по-тежките – на три пъти по-голяма височина и т. н.. Именно това се сторило на Галилей неестествено и той твърдял, че наблюдаваното явление (едновременното падане) се обяснява много по-просто с предположението, че всички зърна, и

големи, и малки, независимо на каква височина са образувани, падат с една и съща скорост.

В светлината на гореказаното е ясно, че ледените зърна на градушката не достигат земята с еднакви скорости – скоростта на по-големите е по-голяма от скоростта на по-малките. Как тогава Галилей от погрешно наблюдение прави правилно заключение?