

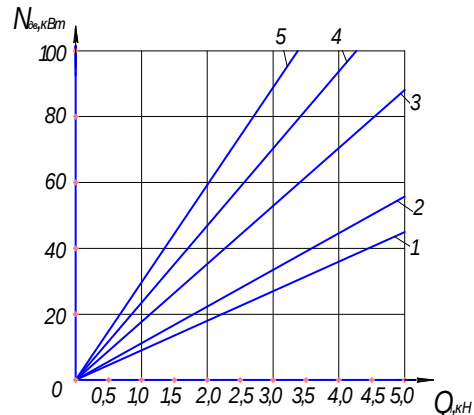


Рис. 2. Графіки залежності потужності привода від ваги вантажу і швидкості руху каната: 1)  $V=0,5$  м/с; 2)  $V=1,0$  м/с; 3)  $V=2,0$  м/с; 4)  $V=2,5$  м/с; 5)  $V=3,0$  м/с

Із графіків видно, що у разі використання базових машин як приводів МТЗ – 100 і Т – 150, потужність яких становить, відповідно, 70 та 110 кВт, швидкість руху тягово-несного каната повинна становити  $V \leq 3$  м/с за навантажень, що, відповідно, становлять  $Q=2,0$  кН та 3,5 кН.

Використовуючи наведені залежності, можна оцінити напружено-деформований стан окремих елементів установки та визначити їх параметри з умови міцності і жорсткості.

## Література

1. Закон України "Про мораторій на проведення суцільних рубок на гірських схилах в ялицево-букових лісах Карпатського регіону" 10.02.2000 р., № 1436-III. // Відомості Верховної ради України. – 2000. – № 8. – С. 221-236.
2. Правила рубань в гірських лісах Українських Карпат. – К. : Держкомітет лісового господарства, 2003. – 24 с.
3. Про затвердження "Правил рубок головного користування в гірських умовах Карпат" / Постанова Кабінету Міністрів України від 22.10.2008 р., № 929 И // Урядовий кур'єр. – 12 листопада 2008 р.
4. Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат / Ратифікована Законом України від 07.04.2004 р., № 1672-IV. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://Zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laros/main.cgi/>
5. Про забезпечення виконання міжнародних зобов'язань України за Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату та Кіотським протоколом до неї // Постанова Кабінету Міністрів України від 17 квітня 2008 р., № 392. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://Zakon.rada.gov.ua>.
6. Мартинців М.П. Канатна установка з дистанційним керуванням / М.П. Мартинців, В.М. Мартинців, В.В. Баріляк, І.М. Рудько // Патент України № 2289, В 61 В 12/02.
7. Баріляк Й.С. Канатна установка / Й.С. Баріляк, В.В. Баріляк, О.В. Боратинський // Деклараційний патент України № 2005 05331 7В 61 В 12/02.
8. Баріляк Й.С. Канатна установка / Й.С. Баріляк, В.В. Баріляк, О.В. Боратинський // Деклараційний патент України № 2006 02209 В 61 В 12/02.
9. Адамовський М.Г. Підвісні канатні лісотransпортні системи / М.Г. Адамовський, М.П. Мартинців, Й.С. Бадера. – К. : Вид-во ІЗМН, 1997. – 156 с.
10. Мартинців М.П. Розрахунок основних елементів підвісних канатних лісотransпортних установок / М.П. Мартинців. – К. : Вид-во "Ясмина", 1996. – 175 с.
11. Иванченко Ф.К. Расчёты грузоподъемных и транспортирующих машин / Ф.К. Иванченко, Ф.С. Бондарев, Н.П. Колесник, В.Я. Барабанов. – К. : Изд-во "Вища шк.", 1975. – 517 с.

## Мартинців М.П., Деревинка І.С. Расчет тягово-несущих канатов трелевочных лесотранспортных установок

Получены зависимости для определения усилий и деформаций тягово-несущего каната лесотранспортных установок с учетом динамических нагрузок. Для учета сил инерции, возникающих при работе установки, предложено уравнение движения системы в частных производных. Получены зависимости для определения амплитудно-частотных характеристик подвижного каната. Построены графики для выбора мощности привода в зависимости от основных параметров установки.

**Ключевые слова:** подвижный тягово-несущий канат, натяжения холостой и рабочей веток, монтажное натяжение, упругие деформации, основные параметры, мощность привода.

## Martyniv M.P., Derfinka I.S. Calculation of hauling-bearings ropes of gravity forestry transports options

Dependences are got for determination of efforts and deformations of hauling-bearing rope of forestry transports options taking into account the dynamic loadings. For the account of forces of inertia, arising up during work of setting equalization of motion of the system is offered in partials. Dependences are got for determination peak - frequency descriptions of mobile rope. The graphs are built for the choice of power of drive depending on the basic parameters of setting.

**Keywords:** rolling hauling-bearing rope, tension blank and working legs, mounting tension, elastic deformation, the basic parameters, power drive.

УДК 535.343.2

Проф. З.П. Чорний, д-р фіз.-мат. наук; ст. викл. І.Б. Пірко; доц. В.М. Салапак, канд. фіз.-мат. наук; асист. М.В. Дячук – НЛТУ України, м. Львів

## КІНЕТИКА НАРОСТАННЯ ЦЕНТРІВ ЗАБАРВЛЕННЯ В ІОННИХ КРИСТАЛАХ. II. ГЕНЕРАЦІЯ $M_A^+$ -ЦЕНТРІВ

Розраховано кінетику наростання концентрації  $M_A^+$ -центрів забарвлення у процесі опромінення кристалів флюоритів іонізуючою радіацією за кімнатної температури. Цю методику розрахунку можна застосувати для кристалів, що містять дефекти дипольного типу, а також електронейтральні та заряджені точкові структурні дефекти. У рамках цієї методики отримано радіаційні параметри  $M_A^+$ -центрів забарвлення в іонних кристалах галогенідів дво- і тривалентних металів.

**Ключові слова:** кристали, центри забарвлення, радіація.

**Вступ.** Під дією іонізуючої радіації в іонних кристалах утворюються радіаційні дефекти, які поглинають світло у видимій області спектра – центри забарвлення. Із збільшенням дози опромінення концентрація центрів забарвлення зростає і за великих доз радіації досягає насичення. Кінетику утворення центрів забарвлення визначає співвідношення між ймовірністю утворення  $w_1$  центра забарвлення у разі потрапляння на кристал кванта радіації та ймовірністю його висвітлення  $w_2$ . У роботі [1] описано методику розрахунку кінетики кривої наростання центрів забарвлення в процесі опромінення кристала. У цій роботі за методикою [1] розраховано криві наростання концентрації  $M_A^+$ -центрів в кристалах зі структурою флюорита, легованих лужними металами.

### 1. Механізм генерації $M_A^+$ -центрів забарвлення

Згідно з роботами [2-4], генерація  $M_A^+$ -центрів у кристалах флюоритів протікає за такою схемою:



а процес їх радіаційного руйнування (висвітлення) – за схемою:



У рівняннях (1) і (2) використано такі позначення:

$\ominus$  – негативно заряджений іон лужного металу ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ );

$\oplus$  – позитивно заряджена вакансія іона фтору;

$\ominus \oplus$  – домішково-вакансійний диполь (ДВД);

$\square$  – F-центр;  $\ominus \square$  –  $F_A$ -центр;  $\ominus \oplus$  –  $M_A^+$ -центр;  $\oplus$  – локалізована

дірка;  $\oplus \ominus \oplus$  –  $V_{KD}$ -центр;  $\oplus \ominus$  –  $V_{KA}$ -центр;  $\cdots$  – іони осно-

ви кристала;  $\ominus \oplus \cdots \ominus \oplus$  – фрагмент іонного ланцюга, довжина якого обмежена ДВД;  $R(e^-, e^+)$  – створена іонізуючою радіацією електронно-діркова пара;  $w_1$  – ймовірність утворення ( $F_A - V_{KD}$ )-пари центрів забарвлення внаслідок розпаду електронно-діркової пари;  $w_2$  – ймовірність радіаційного руйнування (знебарвлення) ( $F_A - V_{KD}$ )-пари центрів забарвлення.

Необхідною умовою для реалізації реакції (1) є термодисоціація  $V_{KD}$ -центрів [3]:



Реакція (3) зумовлює виникнення в ґратці опроміненого кристала мобільних вакансій фтора, які надалі локалізуються в околі  $F_A$ -центрів з утворенням  $M_A^+$ -центрів:



Процеси, описані рівнянням (2), реалізуються внаслідок термодисоціації остова  $M_A^+$ -центра:



Вивільнені аніонні вакансії локалізуються в околі іонів лужного металу, внаслідок чого утворюються домішково-вакансійні диполі:



Характерною особливістю кристалів флюоритів, опроміненних рентгєнівськими променями в температурному діапазоні 220-300 К, є та обставина, що ймовірності генерації центрів забарвлення  $w_1$  і радіаційного руйнування  $w_2$  для  $M_A^+$ -центрів збігаються за величиною:

$$w_1 = w_2. \quad (7)$$

За таких умов спрощується розрахунок граничних концентрацій  $M_A^+$ -центрів у кристалі:

$$\frac{[M_A^+]}{[d](0)} = \frac{w_1}{w_1 + w_2} = 0,5, \quad (8)$$

де:  $[M_A^+]$  – концентрація  $M_A^+$ -центрів на стадії насичення забарвлення;  $[d](0)$  – концентрація пар диполів в неопроміненому кристалі. Результати розрахунків радіаційних параметрів кристалів флюоритів приведені в табл. 1.

Табл. 1. Радіаційні параметри кристалів флюоритів, опроміненних при кімнатній температурі

| № з/п | C, мол. % | l    | $w_1$ | $w_2$ | $\frac{[M_A^+]}{[d](0)}$ | E, eB |
|-------|-----------|------|-------|-------|--------------------------|-------|
| 1     | 0,2       | 8 а  | 0,071 | 0,071 | 0,5                      | 211   |
| 2     | 0,025     | 16 а | 0,045 | 0,5   | 0,5                      | 333   |

C – концентрація іонів лужного металу; l – середня відстань між домішковими іонами;  $[M_A^+]$  – число  $M_A^+$ -центрів у кристалі на стадії насичення забарвлення;  $[d](0)$  – число пар диполів у кристалі до його опромінення радіацією; E – енергія утворення пари центрів забарвлення.

## 2. Розрахунок кривої наростання концентрації $M_A^+$ -центрів залежно від дози радіації

Розрахунки проведено за методикою роботи [1]. Результати розрахунків наведено в табл. 2 і 3 і зображено на рис. 1-4.

Табл. 2. Кінетика наростання  $M_A^+$ -центрів забарвлення в кристалах флюоритів ( $T=293 \text{ K}$ ,  $C = 0,2 \text{ мол. \% NaF}$ )

| n  | $\Delta E \text{ (eB)}$ | $\Delta_1 [M_A^+]$ | $\Delta_2 [M_A^+]$ | $[M_A^+]$ | E, eB |
|----|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------|-------|
| 1  | 15                      | 0,045              | 0,000              | 0,045     | 15    |
| 2  | 15                      | 0,043              | 0,002              | 0,086     | 30    |
| 3  | 15                      | 0,041              | 0,004              | 0,123     | 45    |
| 4  | 15                      | 0,039              | 0,006              | 0,156     | 60    |
| 5  | 15                      | 0,038              | 0,007              | 0,187     | 75    |
| 6  | 15                      | 0,037              | 0,008              | 0,216     | 90    |
| 7  | 15                      | 0,035              | 0,01               | 0,241     | 105   |
| 8  | 15                      | 0,034              | 0,011              | 0,264     | 120   |
| 9  | 15                      | 0,033              | 0,012              | 0,285     | 135   |
| 10 | 15                      | 0,032              | 0,013              | 0,304     | 150   |
| 15 | 15                      | 0,029              | 0,016              | 0,370     | 225   |
| 20 | 15                      | 0,026              | 0,019              | 0,424     | 300   |
| 25 | 15                      | 0,025              | 0,020              | 0,452     | 375   |

|    |    |       |       |       |     |
|----|----|-------|-------|-------|-----|
| 30 | 15 | 0,024 | 0,021 | 0,469 | 450 |
| 35 | 15 | 0,024 | 0,022 | 0,481 | 525 |
| 40 | 15 | 0,023 | 0,022 | 0,489 | 600 |
| 45 | 15 | 0,023 | 0,022 | 0,495 | 675 |
| 50 | 15 | 0,023 | 0,023 | 0,497 | 750 |

Примітка:  $n$  –  $n$ -на ізодоза опромінення (15 еВ на фрагменті іонного ланцюга);  
 $\Delta_1[M_A^+]$  – збільшення концентрації  $M_A^+$ -центрів за  $n$ -ї дози опромінення;  
 $\Delta_2[M_A^+]$  – зменшення концентрації  $M_A^+$ -центрів за рахунок їх висвічування радіацією;  
 $[M_A^+]$  – сумарна концентрація  $M_A^+$ -центрів після опромінення числом  $n$  ізодоз радіації.

Табл. 3. Кінетика наростання  $M_A^+$ -центрів забарвлення в кристалах флюоритів ( $T=293\text{ K}$ ,  $C = 0,025\text{ мол. \% NaF}$ )

| $n$ | $\Delta E\text{ (eB)}$ | $\Delta_1[M_A^+]$ | $\Delta_2[M_A^+]$ | $[M_A^+]$ | $E, \text{ eB}$ |
|-----|------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-----------------|
| 1   | 15                     | 0,071             | 0,003             | 0,071     | 15              |
| 2   | 15                     | 0,066             | 0,009             | 0,132     | 30              |
| 3   | 15                     | 0,062             | 0,013             | 0,185     | 45              |
| 4   | 15                     | 0,058             | 0,016             | 0,23      | 60              |
| 5   | 15                     | 0,055             | 0,019             | 0,269     | 75              |
| 6   | 15                     | 0,052             | 0,021             | 0,302     | 90              |
| 7   | 15                     | 0,05              | 0,023             | 0,331     | 105             |
| 8   | 15                     | 0,047             | 0,025             | 0,355     | 120             |
| 9   | 15                     | 0,0455            | 0,027             | 0,376     | 135             |
| 10  | 15                     | 0,044             | 0,028             | 0,393     | 150             |
| 15  | 15                     | 0,039             | 0,032             | 0,45      | 225             |
| 20  | 15                     | 0,037             | 0,034             | 0,477     | 300             |
| 25  | 15                     | 0,036             | 0,035             | 0,49      | 375             |
| 30  | 15                     | 0,036             | 0,036             | 0,497     | 450             |

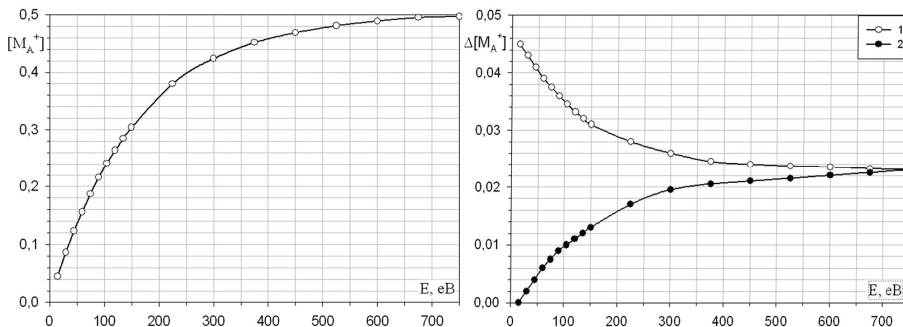


Рис. 1. Кінетика наростання концентрації  $[M_A^+]$ -центрів забарвлення залежно від дози опромінення рентгенівськими променями ( $T=293\text{ K}$ ,  $C = 0,025\text{ мол. \% NaF}$ )

Рис. 2. Кінетика спаду ефективності утворення  $\Delta_1[M_A^+]$ -центрів забарвлення ( $ДВД \rightarrow M_A^+$ -перетворень) (крива 1) та наростання ефективності радіаційного руйнування  $\Delta_2[M_A^+]$ -центрів ( $M_A^+ \rightarrow ДВД$ -перетворень) (крива 2) залежно від дози іонізуючого опромінення ( $C = 0,025\text{ мол. \% NaF}$ )

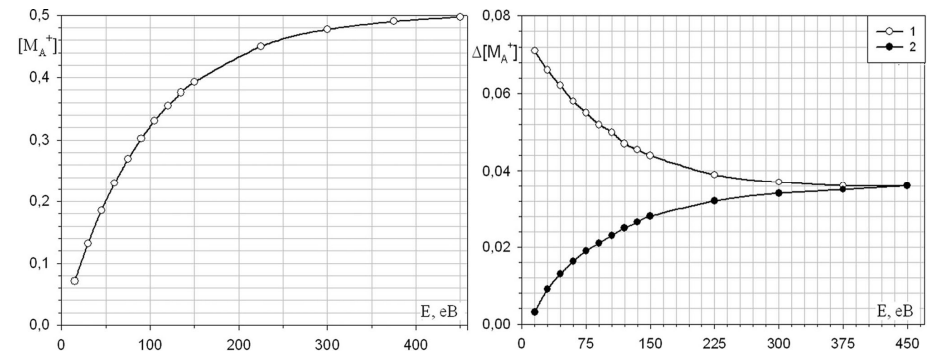


Рис. 3. Кінетика наростання концентрації  $[M_A^+]$ -центрів забарвлення залежно від дози опромінення рентгенівськими променями ( $T=293\text{ K}$ ,  $C = 0,2\text{ мол. \% NaF}$ )

Рис. 4. Кінетика спаду ефективності утворення  $\Delta_1[M_A^+]$ -центрів ( $ДВД \rightarrow M_A^+$ -перетворень) (крива 1) та наростання ефективності радіаційного руйнування  $\Delta_2[M_A^+]$ -центрів ( $M_A^+ \rightarrow ДВД$ -перетворень) (крива 2) залежно від дози іонізуючого опромінення ( $C = 0,2\text{ мол. \% NaF}$ )

### Висновки:

1. Розраховано кінетику наростання  $M_A^+$ -центрів забарвлення в процесі опромінення кристалів флюоритів іонізуючою радіацією.
2. Результати розрахунків за цією методикою збігаються з результатами, одержаними аналітичним методом.
3. На початковій стадії опромінення кристала швидкість наростання  $\Delta_1[M_A^+](1)$  рівна  $w_1$ , а на стадії насичення забарвлення кристала досягає величини

$$\Delta_1[M_A^+](n) = \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2}. \quad (9)$$

У випадку  $M_A^+$ -центрів  $w_1=w_2$ , тому:

$$\Delta_1[M_A^+](n) / \Delta_1[M_A^+](1) = 0,5. \quad (10)$$

4. Швидкість радіаційного руйнування центрів забарвлення в процесі опромінення змінюється від нуля до величини  $w_1 w_2 / (w_1 + w_2)$ , а для  $M_A^+$ -центрів ці зміни лежать в діапазоні від 0 до 0,5.
5. Оскільки значення  $w_1$  і  $w_2$  залежать від концентрації дорадіаційних точкових дефектів, їх електричного заряду та структури центрів забарвлення, то розрахунки кінетики наростання центрів забарвлення для кожного конкретного кристалу необхідно проводити окремо.

### Література

1. Кінетика радіаційного утворення центрів забарвлення в іонних кристалах. І. Кристали з домішково-вакансійними диполями. Генерація  $F_A$ -центрів / З.П. Чорний, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.В. Дячук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.11. – С. 175-180.
2. Chornij Z.P. Reorientation of  $M_A^+$ -centers in  $\text{CaF}_2\text{-Me}^+$  crystals / Z.P. Chornij // Phys. Stat. Sol. – 2001. – Vol. 233. – Pp. 757-765.
3. Chorniy Z.P. Crystals  $\text{SrCl}_2\text{-K}$  radiation sensitivity / Z.P. Chorniy, I.B. Pirko, V.M. Salapak // Functional materials. – 2011. – Vol. 18, № 2. – Pp. 206-210.

4. Чорний З.П. F<sub>2</sub>-центри в кристалах флюоритів, легованих лужними металами / З.П. Чорний, І.Б. Пірко, В.М. Салапак, М.Р. Панасюк // Журнал фізичних досліджень. – 2012. – Т. 16, № 1. – С. 1602-1-1602-8.

**Чорний З.П., Пірко І.Б., Салапак В.М., Дячук Н.В. Кинетика нарастания центров окраски в ионных кристаллах. II. Генерация M<sub>A</sub><sup>+</sup>-центров**

Рассчитана кинетика нарастания концентрации M<sub>A</sub><sup>+</sup>-центров окраски в процессе облучения кристаллов флюоритов ионизирующей радиацией при комнатной температуре. Данную методику расчета можно применить для кристаллов, содержащих дефекты дипольного типа, а также электронейтральные и заряженные точечные структурные дефекты.

**Ключевые слова:** кристаллы, центры окраски, радиация.

**Chornij Z.P., Pirko I.B., Salapak V.M., Djachuk N.V. Kinetics of growth of color centers in ionic crystals. II. Generation of M<sub>A</sub><sup>+</sup>-centers**

Calculated kinetics of increase in concentration of M<sub>A</sub><sup>+</sup> color centers in the crystal fluorites exposure to ionizing radiation at room temperature. Dan calculation method can be applied to crystals containing defects such as dipole and electroneutral and charged point structural defects.

**Keywords:** crystals, color centers, radiation.

УДК 004.9

Доц. Р.Д. Іванців, канд. техн. наук;  
аспір. Б.П. Дунак – НУ "Львівська політехніка"

**МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ ЗРАЗКА ЗА ДОПОМОГОЮ АТОМНО-СИЛОВОГО МІКРОСКОПУ НА ОСНОВІ КАНТЕЛІВЕРА МЕХАНІЧНОГО ТИПУ**

Викладено методи дослідження поверхні зразка за допомогою атомно-силового мікроскопу на основі кантелівера механічного типу в безконтактному режимі. Показано, що під час дослідження топології поверхні зразка в безконтактному режимі зонд не контактує із самим зразком, тому не руйнує його і не спотворює зображення. Зокрема, це може бути важливим під час сканування атомно-силовим мікроскопом біологічних зразків.

**Ключові слова:** атомно-силовий мікроскоп, кантелівер, зонд, скануючий зондовий мікроскоп, силова скануюча мікроскопія, скануюча тунельна мікроскопія.

**Постановка проблеми.** Розвиток методів мікроскопії для дослідження поверхні розпочався ще у XV ст., коли винайшли збільшуваче скло. Після створення у XVII ст. оптичного мікроскопа вдалося побачити окремі клітини, мікроби та бактерії. Однак зі зменшенням розмірів зразків змушують дослідників шукати та використовувати відмінні від оптичних методів дослідження. Першою причиною є прагнення досягнути кращого просторового розділення, якими не були б оптичні мікроскопи, за їхньою допомогою ніколи не вдасться побачити атомні структури, оскільки довжина хвилі видимого світла (~600 нм) майже у 2000 разів більша, ніж розмір атома (~0,3 нм). Другою причиною є намагання дослідити фізичні характеристики, які нечутливі до електромагнітного випромінювання.

Останньою за часом появи серед методів мікроскопії є зондова мікроскопія, яка має найкраще розділення і дає змогу побачити окремі атоми, а її застосування допомогло отримати унікальні результати в різних галузях фізики,

хімії та біології. Якщо перші такі мікроскопи були лише індикаторами для якісних досліджень, то сучасний зондовий прилад уже інтегрує багато методів досліджень топології та властивостей поверхні зразків.

**Виклад основного матеріалу.** Протягом майже 20 років, з 1965 р. до середини 1980-х, отримати зображення поверхні з розділенням, ліпшим від розділення оптичного мікроскопа, можна було лише за допомогою скануючого зондового мікроскопу (СЗМ) [1]. Альтернативні методи, зокрема дзеркальна електронна мікроскопія, були тоді доступні теж, однак ще не досягнули високої роздільної здатності, а з часу винайдення сканувального тунельного мікроскопа відбувалися значні зміни в у галузі сканувальних методів. На нині існує багато методів дослідження поверхні зразків.

**Безконтактний метод дослідження поверхні зразка.** Цей метод має унікальні можливості порівняно з іншими методами зондівської мікроскопії, такими як контактна силова скануюча мікроскопія (ССК) і скануюча тунельна мікроскопія (СТМ) [2]. Відсутність сил відштовхування в безконтактній скануючій силовій мікроскопії дає змогу використовувати її в дослідженнях "м'яких зразків", при цьому в безконтактній мікроскопії, на відміну від СТМ, не потрібна наявність провідних зразків.

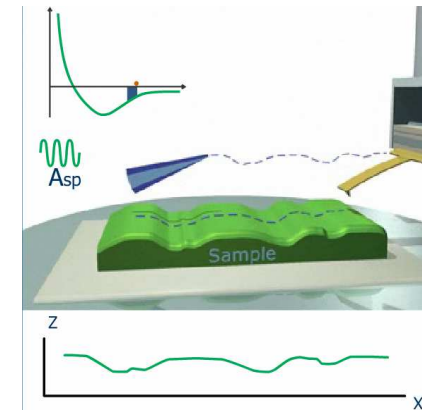


Рис. 1. Безконтактний метод

Безконтактна мікроскопія використовує принцип визначення "модуляції амплітуди". Відповідна вимірювальна схема використовує зміни амплітуди коливань кантелівера А, обумовлені взаємодією зонда із зразком. За методом безконтактну мікроскопію можна описати в термінах градієнтно-силової моделі. Відповідно до цієї моделі, в межах малих А при наближенні кантелівера до зразка резонансна частота кантелівера  $f_0$  зрушується на величину  $df$  до свого нового значення відповідно до вираження

$$f_{eff} = \frac{f_0(1 - F'(z)/k_0)}{2}, \quad (1)$$

де:  $f_{eff}$  – це нове значення резонансної частоти кантелівера з номінальною величиною жорсткості  $k_0$ , а  $F'(z)$  – градієнта сили взаємодії кантелівера із зразком.