

## **Laboratoriya işi № 8.**

### **Skanedici zond mikroskopunun köməyi ilə suyun mikroflorasının öyrənilməsi.**

8.1. İşin məqsədi .....	185
8.2. İşin məzmunu.....	185
8.3. Metodik göstərişlər .....	218
8.4. Tapşırıq.....	219
8.5. Yoxlama sualları .....	220

İşdə skanedici zond mikroskopiyasının əsaslarının öyrənilməsi və distillə edilmiş su mühitlərində mikrofloranın tədqiq edilməsinə tətbiqi təklif olunur.

### **8.1. İşin məqsədi**

1. Skanedici zond mikroskopunun iş prinsipinin öyrənilməsi.
2. **NanoEducator** cihazının konstruksiyası və iş prinsiplərinin öyrənilməsi.
3. SZM vasitəsilə nümunə səthinin şəklinin alınması.
4. Təcrübənin nəticələrinin işlənməsi və təqdimatı, iş vərdişlərinin yaranması.

**Ləvazimat:** Skanedici zond mikroskopu (Model SZMU-L5), zond, NanoEducator proqramı və kompüter.

**Tədqiqat üçün nümunə:** distillə olunmuş su və adi suyun mikroflorası

### **Laboratoriya işi bir neçə mərhələdə yerinə yetirilir:**

1. Nümunənin hazırlanması hər bir tələbə tərəfindən fərdi qaydada yerinə yetirilir.
2. Birinci şəklın alınması müəllimin nəzarəti altında cihazların birində yerinə yetirilir, sonra hər tələbə özünün nümunəsini sərbəst tədqiq edir.
3. Təcrübənin nəticələrinin işlənməsi hər tələbə tərəfindən fərdi aparılır.

İşə başlamazdan əvvəl amplitud tezlik xarakteristikası ən yaxşı xarakterli (bir simmetrik maksimumu olan) zond seçməli, tədqiq olunan nümunənin səthinin şəklinin alınması.

### **Laboratoriya işinin hesabatına daxil olmalıdır:**

1. Nəzəri hissə (yoxlama suallara cavablar).
2. Təcrübə hissənin nəticələri (aparılmış tədqiqatın izahı, alınmış nəticələr və çıxarılmış nəticələr).

### **8.2. İşin məzmunu**

1. SZM-in yaranma tarixi;
2. SZM-in iş üsulları;

- kontakt iş üsulu;
- lateral qüvvə üsulu;
- qüvvə modulyasiya üsulu;
- yarımkontakt üsulu;
- faza təzadı üsulu, alınmış şəklın fiziki mənası.

3. SZM-də şəklə təsir edən faktorlar.

4. Preparatın hazırlanması və SZM-in tətbiqi ilə onun tədqiqi.

5. İşin ardıcılığı: şəklın alınması, işlənməsi və analizi.

### **Skanedici zond mikroskopunun yaranması tarixi**

70 il əvvəl keçmiş SSRİ vətəndaşı Q.A.Qamov ilk dəfə olaraq enerjisi potensial çəpərdən kiçik olan mikrohissəciklərin, potensial çəpərdən keçməsi prosesini təsvir etmişdi. Bu hadisə tunnəlaşmə adlandırılmışdı. Tunnel effekti kvant hadisəsi olub, mikrohissəciyin hərəkəti mümkün olan potensial çəpərlə ayrılan bir oblastdan digər oblasta daxil olmasıdır.

Əgər cərəyan keçirən iki cisim götürsək, onları bir-birinə yaxın məsafədə yerləşdirərək onlara müəyyən potensiallar fərqi tətbiq etsək, onda bu cisimlər arasında atomların qarşılıqlı müdaxiləsi olmadan tunnel elektrik cərəyanı yaranar. Cisimlər arası məsafənin 10 nanometr səviyyəsində bu sahə avtoelektron emissiyasının cərəyanı olacaqdır. Bunun qiyməti cisimlər arası məsafədən güclü surətdə asılı olacaqdır. Bu effekt ABŞ Milli Standartlar İnstitutunun əməkdaşı R.Yanq tərəfindən cərəyan profelometrinin yaradılması zamanı istifadə olunmuşdu. Metal iti uclu zond tədqiq olunan cərəyan keçirən nümunənin səthinə yaxınlaşdırılır, onlar arasında verilmiş qiymətə malik avtoelektron emissiya cərəyanının keçməsinə başlanana qədər yaxınlaşma davam edir. Bundan sonra zond nümunənin səthinə skanetməyə başlayır. Bu zaman elektromexaniki əks əlaqə sistemi cərəyanın verilmiş qiymətini sabit saxlayır. Cərəyanın qiyməti zond və nümunə səthi arasındakı məsafədən güclü surətdə asılı olduğundan, onda skanetmə prosesində zond yüksək dəqiqliklə səth üzərində yerini dəyişir. Bu zaman skanetmə sisteminin idarəetmə siqnalı səthin relyefinin şəklının

qurulması üçün istifadə olunur. R.Yanq tərəfindən bu qurğu

**Topografiner** adlandırılmış, şaquli istiqamətdə  $3 \text{ \AA}$  səviyyəsində ayırtdetmənin əldə olunmasına imkan verdi. R.Yanq həmmüəlliflərlə göstərdilər ki, zond və nümunə səthi arasındakı məsafədən eksponensial asılı olan tunel cərəyanının istifadə olunması ayırtdetməni daha da yaxşılaşdırmağa imkan verəcəkdir.

Bu kəşfdən sonra alimlər belə bir suala cavab axtardılar: əgər əvvəlki təcrübəni təkrar etsək bu zaman maraqlı olan cisim səthinə iti uclu predmet yaxınlaşdırılırsa onda nə olacaq? Aparılmış təcrübələr nəticəsində aydın oldu ki, çox nazik iti uclu iynənin köməyi ilə (iynənin ucundakı atom əsas hiss edən elementdir) atom səviyyəsində öyrənilən maddi obyektin quruluşu haqqında məlumat əldə etməyə imkan verir.

1979-cu ildə IBM-in Sürix bölməsindəki laboratoriyasında işləyən İsveçrə alimləri Q.Binning və U.Rorer fiziki obyektlərlə yeni iş prinsipini, Skanedici zond mikroskopunu (SZM) [4] təklif etdilər. Qeyd edək ki, ilkin ideya mikroskopun yaradılması olmayıb, 100 anqstremdən kiçik olan səth hissələrinin spektroskopik tədqiqatlarının həyata keçirilməsindən ibarət idi. Tezliklə tədqiqatçılar başa düşdülər ki, nəinki lokal spektroskopik zond yaratmaq olar, həmçinin skanetmə ilə spektroskopik və topoqrafik şəkillər almaq olar.

Beləliklə, yeni tipli mikroskopun yaradılması imkanına yol açıldı. Skanedici tunel mikroskopunun (STM) hazırlanması konsepsiyasından 27 ay keçdikdən sonra, o yaradılmış oldu. Bu cihazın işləmə prinsipi bundan ibarətdir ki, zond tədqiq olunan nümunə səthinə yaxın məsafəyə (anqstremin hissələri) qədər yaxınlaşdırılır. Zond və nümunə arasında sabit gərginlik verilir. Bunun nəticəsində onlar arasında tunel cərəyanı yaranır. Onun qiyməti zond və nümunə arasındakı məsafədən güclü sürətdə asılı olub, izləyən sistem tədqiq olunan səthin relyefindən asılı olaraq skanedicini aşağıya və yuxarıya hərəkət etdirməklə bu məsafə sabit saxlanılır. Bu yerdəyişmələr haqqında məlumatı

kompüterdə izləyərək bu məlumatın proqram vasitəsi ilə işlənməsindən sonra nümunə səthinin ekranda şəklini görmək olar.

Ifrat yüksək vakuum şəraitində qurğularla iş təcrübəsi qızılın(*Au*) və silisiumun(*Si*) səthlərinin atom quruluşunun birinci şəklini almağa imkan verdi. 1983-cü ilin sonunda müəliflər yeni üsulun imkanını karbon təbəqəsinin səthində DNK zəncirinə baxaraq biologiyaya tətbiqini öyrənməyə başladılar. Birinci STM-lər vakuum şəraitində aşağı temperaturlarda işləyirdi. 1984-cü ildə atmosfer təzyiqində, distillə olunmuş suda, duz məhlullarında tədqiqatların aparılması haqqında birinci məlumatlar yarandı. 1986-cı ildə alimlər Q.Binning və R.Rorer Skanedici tunel mikroskopunun kəşfinə görə fizika sahəsində Nobel mükafatına layiq görüldülər.

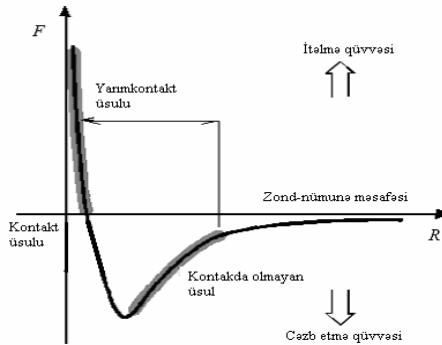
Skanedici tunel mikroskopunun əsas çatışmazlığı onun yalnız cərəyan keçirici nümunələrin tədqiqi imkanı olmasıdır. Bu 1986-cı ildə Qerd Binning, Kelvin Kueyt və Kristofer Qerber tərəfindən zond mikroskoplarının yeni nəslinin-atom-qüvvə mikroskopunun(AQM) yaradılması ilə bu çatışmazlıq aradan qaldırıldı[8]. AQM-in iş prinsipi atomlar arası təsir edən atom qüvvələrinin istifadə olunmasına əsaslanır. Analoji qüvvələr ixtiyari yaxınlaşan cisimlər arasında təsir edir. AQM-ə belə cisimlər tədqiq olunan səth və onu skanedən zond ola bilər. Kiçik iti uclu iynə zond kimi istifadə olunur. Nazik platin folqadan hazırlanmış müstəvi elastik yay kantileveronun bir tərəfinə bərkidilmiş iti uclu iynə, o biri tərəfi isə saxlayıcıya bərkidilir. Bu kantilever iti uclu zondla birlikdə-zond çevirici adlanır. Skanetmə prosesində zond səth üzrə sürüşür. Onun relyefini gəzərək, bu zaman uyğun qeydiyyat sistemi kantileverin əyilməsini izləyir.

90-cı illərdə skanedici zond mikroskopunun bioloji obyektlərin tədqiqində istifadə olunmasının mümkünliyünü təsdiq edən çoxlu elmi işlər yarandı. SZM yüksək ayırdetmə imkanına malik olub(elektron mikroskopların ayırdetmə imkanları ilə müqayisədə) bu zaman səthin relyefini ölçmək və maye

mühitlərdə tədqiqat aparmaq mümkündür. Bu da bioloji obyektlərin(həmçinin fiksə olunmayan canlıların da) strukturların -fizioloji və morfoloji xarakteristikalarının dinamik dəyişmə-sini izləməyə imkan verir. SZM - in ən üstün cəhətlərindən biri real vaxtda bioloji obyektlərin(ən əvvəl hüceyrələrin) tədqiqini aparmağa, bəzi bioloji proseslər haqqında hətta mikrofilmlər-məsələn iki komplementar DNK molekullarının hibridləşmə-sini çəkməyə, səthin üç ölçülü şəklini almağa, obyektlərin laterial ölçülərini və kələ-kötürlülüyünü dəqiq təyin etməyə imkan verir.

### SZM-in iş üsulları

SZM-in çoxlu iş üsulları mövcuddur. Onlar zond və nümunə arasında qarşılıqlı təsir qüvvəsinin növlərinin, zondun nümunə səthi üzrə yerdəyişmə alqoritmlərinin, səthin müxtəlif xarakteristikalarının müxtəlif şəkillərini almaq üçün verilənlə-rin istifadə olunması üsullarının müxtəlifliyinin istifadə olun-ması ilə fərqlənir. Uyğun üsulun seçilməsi nümunənin tipi, çirкли olmağı və mühitindən asılı olaraq skanetmənin aparılma şəraitindən asılıdır.



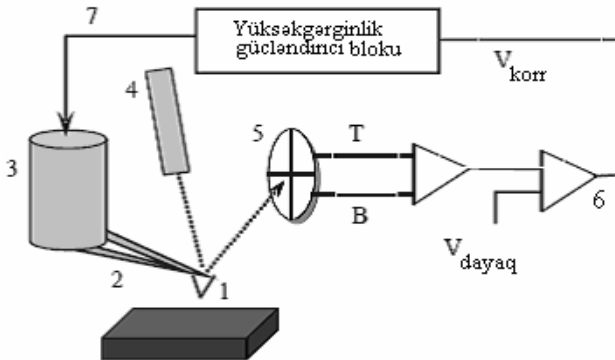
Şəkil 8-1. Zond və nümunə arasındakı  $F$  qarşılıqlı təsir qüvvəsinin  $R$  məsafəsindən asılılığı

Zond və nümunə arasında təsir edən qüvvənin xarakterin-dən asılı olaraq atom-qüvvə mikroskopunun - kontakt, kontakt-sız, toxunmaqla kontakt (yarım kontakt) kimi müxtəlif üsulları

vardır. Kontakt üsulunun istifadə olunmasında qəbul olunur ki, zond nümunə səthində sürüşür və itələmə qüvvələrinin təsir oblastında yerləşir. Kontaktsiz üsulun istifadə olunması zamanı zond səthdən uzaqda və uzaqdan təsir edən cəzətmə qüvvələrinin təsir oblastında yerləşir. Yarımkontakt iş üsulunda işləyərkən, zond rəqs prosesində periodik olaraq növbə ilə həm cəzətmə, həm də itələmə oblastında olur.

### Kontakt iş üsulu

Bu üsulda iş zond və nümunə arasında qarşılıqlı təsir itələmə qüvvələrinin təsir oblastında həyata keçirilir. Bu halda kantilever nümunə istiqamətində əyilmiş olur. Zond nümunə ilə kontaktda olur, bunun nəticəsi olaraq nümunə səthinin zədələnməsi təhlükəsi yarana bilər və zondun tez xarab olmasına və ya sınımasına səbəb olar bilər. Buna görə sərtlik əmsalı  $k = 0,03 \div 1 \text{ N/m}$  kiçik olan kantilever istifadə olunur.



Şəkil 8-2. Kontakt iş üsulunda skanedici atom-qüvvə mikroskopunun sxemi. İşarələnmə: 1 - zond; 2 - kantilever; 3 - skanedici; 4 - lazer; 5 - dörd seksiyalı fotodetektor; 6 - komparator; 7 - yüksək gərginlik gücləndirici blok

Səth və zond arasında təsir edən qüvvələrin ölçülməsi kantileverin tarazlıq vəziyyətindən əyilməsinə görə həyata keçirilir. Atom-qüvvə zond çeviricisi-yaylı kantilever olub sonunda iti uclu zond olan, yüksək həssaslığa malik olmaqla

ayrıca atomlar arasında qarşılıqlı təsir qüvvələrini qeyd etməyə imkan verir.

Kantileverin kiçik əyilmələrində zond və nümunə arasında  $F$  qarşılıqlı təsir qüvvəsini və zondun yerdəyişməsi  $z$  arasında münasibət Hük qanunu ilə təyin olunur:  $F = -kz$ , burada  $k$  - kantileverin sərtlik əmsalıdır.

Səth və zond arasında təsir edən qüvvənin dəyişməsi, zond bərkidilmiş kantileverin tarazlıq vəziyyətindən meyl etməsi baş verir, bu meyletmə yarımkeçirici lazer 4 və dörd seksiyalı fotodioddan ibarət olan xüsusi qeydetmə qurğusunda qeyd olunur (Şəkil 8-2). Kantileverin əyilməsindən alınan əks olunmuş şüa dörd seksiyalı fotodetektorun mərkəzinə nəzərən yerini dəyişmiş olur. Beləliklə kantileverin əyilməsinin qiyməti fotodetektorun yuxarı və aşağı yarım hissəsində işıqlanmanın dəyişməsinə nəzərən təyin oluna bilər.

Komparator 6 qeydə alınmış siqnalı ilkin verilmiş  $V_{\text{dayaq}}$  (zond və nümunə arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsini xarakterizə edən kəmiyyətlə) müqayisə edərək onun verilmiş qiymətdən meylinə görə korrektə edən  $V_{\text{koor}}$  siqnalını əmələ gətirir. Zondun səthlə qarşılıqlı təsirin qiyməti zondun səthə yaxınlaşması və səthdən uzaqlaşması 7 əks əlaqə sisteminin köməyi ilə həyata keçirilir. Əks əlaqə zond çeviricinin vəziyyətini dəyişməklə pyezogətiricini (skanedici ilə) idarə edərək, zond və nümunə arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsini sabit saxlayır. Skanetmə sahəsinin hər bir nöqtəsində  $(x,y)$   $Z$  hündürlükdə siqnalı  $Z$ -pyezogətirmə kanalından götürülür.

### **Lateral qüvvə üsulu**

Kontakt rejimində səthin relyefindən başqa, skanetmə prosesində zonda təsir edən lateral qüvvələrin qeydiyyatı kanalından istifadə edərək (**Lateral Force Mikroskopy-LFM**) skanetmə ilə nanometr məştabda səthin tribolik xüsusiyyətləri haqqında məlumat almaq olar.

Lateral qüvvə üsulunu istifadə edərkən, səth və onun üzərində sürüşən zond arasındakı sürtünmə qüvvəsi tədqiq



olunur. Zond çeviricinin iş prinsipi AQM zond çeviricinin iş prinsipinə oxşar olub, burada relyefin şəklinin alınması fotodetektorun (T-B) yuxarı və aşağı sektorlarının arasındakı fərq siqnalının qeydiyyatı hesabına formalaşır. Lateral qüvvələrin paylanması xəritəsini almaq üçün fotodetektorun (L-R) sol və sağ sektorlarının siqnallar fərqi seçilməsi əsasında olur. Skanetmə prosesində zonda təsir edən nümunə səthi lateral sürtünmə qüvvəsi  $F_{mq} = \mu N$  kimi təyin olunur, burada N-nümunə tərəfindən zonda təsir edən qüvvənin reaksiyası,  $\mu$  - lokal sürtünmə əmsəlidir.

Kantilever şaquli müstəvidə fırlanma deformasiyasını hiss edir. Bu sol və sağ fotodetektorların (Şəkil 8-3.) qeyri-balanlaşdırılmasına gətirib çıxarır. Zond nümunə səthinə bilavasitə toxunur.  $\mu$  sürtünmə əmsəli nə qədər böyükdürsə, o qədər də kantileverin gövdə əyilməsi və L-R fərq siqnalı böyük olacaqdır. Beləliklə SZM-də böyük sürtünmə əmsəli olan sahənin şəkli işıqlı olacaq, kiçik olan isə tutqun alınacaqdır. Adətən lateral qüvvələrin ölçülməsi kanalı relyefin tədqiqi ilə eyni zamanda işə başlayır. Fotodetektorun bütün sektorlarından daxil olan siqnallar eyni zamanda qeyd olunur.

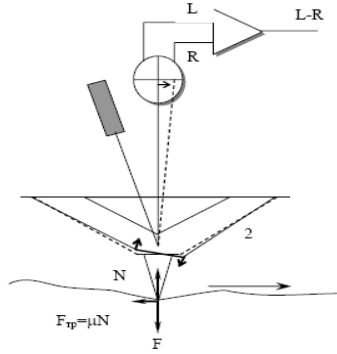
Şəkil 8-4-də səthin relyefinin şəkli göstərilmişdir. (a) və (b) sağlam donorun bukal epitelicit səthdə sürtünmə qüvvələrinin paylanmasının xəritəsi verilmişdir. Bu halda lateral qüvvə üsulu ilə epitelisit hüceyrənin səthinin hamarlılığında bakteriyanın olduğunu aşkar etməyə imkan verir.

### **Qüvvənin modulyasiyası üsulu**

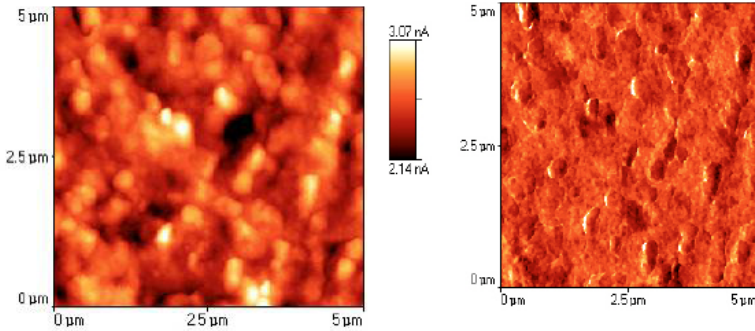
Səthin relyefinin qeydə alınması ilə eyni zamanda nanometr masştabda nümunə səthinin mikromöhkəmliyini öyrənmək olar.

Bu üsulda Z pyezogətirməyə (skanedic) şaquli oxu üzrə zondun yerdəyişməsinin və topoqrafiyasının izlənməsinin təmin olunması üçün sabit gərginlikdən əlavə kantileverin məxsusi rezonans tezliyindən çox kiçik olan 5 kHs yaxın tezlikli dəyişən tərkibli gərginlik verilir və deməli zond şaquli ox üzrə

2-20A amplitudla rəqs edir(zond səthi oyadır və zond-səth qarşılıqlı təsiri yaranır).

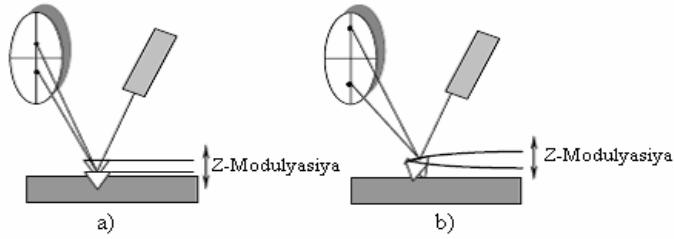


Şəkil 8-3. Lateral qüvvə çeviricisinin iş sxemi



Şəkil 8-4. Bukal epiteliositin səth hissəsinin relyefi(solda) və sürtünmə qüvvəsinin şəklİ (sağda). Sağ şəkildə bakteriya hüceyrələrinin identifikasiyası verilmişdir

Beləliklə, zonda təsir edən dəyişən qüvvə nümunə materialın elastikliyi ilə mütənasib olub, tarazlıq vəziyyətinə nəzərən kantileverin əyilməsinə gətirir və T-B dəyişən tərkibli fərq signalının yaranması baş verir. Bu dəyişən tərkib seçilir və **Z - modulation** kanalına verilir. Buradan səthin mikromöhkəmliyinin şəkil xəritəsi formalaşdırılır.



**Şəkil 8-5. Modulyasiya qüvvəsi üsulu ilə işləyərəkən kantileverin əyilməsinin dəyişməsi. a - yumşaq nümunə halında; b - möhkəm nümunə halında**

Əgər nümunənin səthi yumşaqdırsa zondun ucu çətinliksiz nümunəyə daxil olur. Bu halda skanedicinin  $Z$ -ə nəzərən yerdəyişməsi və zond təqribən eyni amplituda malik olacaq. Bu zaman fotodioddakı fərq siqnalı çox kiçik olacaq (Şəkil 8-5a). Möhkəm nümunə səthini skan edərkən zond nümunə səthinə daxil olarkən müqavimətə rast gələcəkdir və bu zaman kantileverin güclü sürətdə əyilməsi və ya bükülməsi olacaq ki, bu fotodiodda fərq siqnalının artmasına səbəb olacaqdır. Beləliklə, nümunə səthinin möhkəmliyinin dəyişməsi fotodiodda siqnalın amplitudunun dəyişməsinə səbəb olacaq. Böyük amplituda səthin möhkəmliyi uyğun olacaq (ışıqlı hissələr), kiçik amplituda daha yumşaq səth uyğundur (tutqun hissələr). Beləliklə möhkəmlik xəritəsinə görə təzadı fərqləndirmək olar. Bu nümunənin təbəqələrinin gətirilmə tərkibinin müxtəlif fazaları ilə şərtlənir (Şəkil 8-6).

Qeyd edək ki, verilmiş üsulda  $Z$  üzrə modulyasiya amplitudu çox kiçik olur, belə ki zond itələmə qüvvələrinin təsiri oblastında rəqs edir. Bu nümunə səthinin relyefinin tədqiqi və nümunə səthinin mikromöhkəmliyinin paylanması üçün AQM kontakt üsulunu eyni zamanda reallaşdırmağa imkan verir. Şəkil 8-7-də səthin relyefi (a) və nanometr masştabda sağlam donor epitelial yastı hüceyrənin səth hissəsinin möhkəmliyinin paylanma xəritəsi verilmişdir (b).

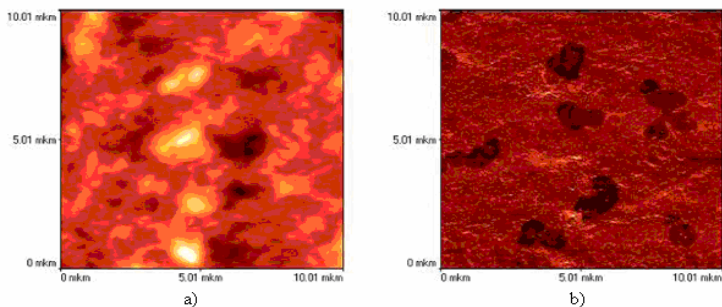


Möhkəm  
oblast

Yumşaq  
oblast

Möhkəm  
oblast

**Şəkil 8-6.** Nümunə səthinin elastiklik xüsusiyyətlərindən asılı olaraq fotodioddan alınan siqnalın amplitudunun dəyişməsinin sxemi (kantileverin əyilməsinin dərəcəsi)



**Şəkil 8-7.** Səthin relyefi ( solda ) və bukal epiteliositin səth hissəsinin mikromöhkəmlik xəritəsi ( sağda )

### Yarımkontakt iş üsulu

Bu üsulda iş zond və nümunə arasındakı qarşılıqlı təsir cəzətmə qüvvələrinin təsir oblastında həyata keçirilir.

Adətən yarımkontakt üsulu üçün I-şəkilli sərtlik əmsalı  $k = 10 \div 100 N/m$  olan kantilever istifadə olunur.

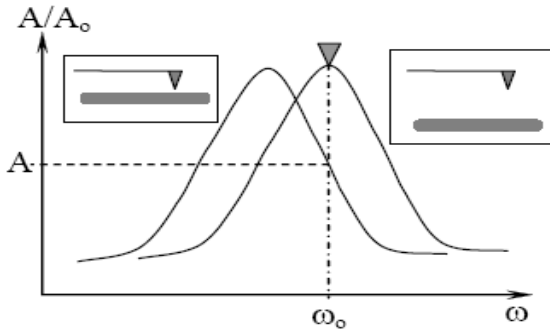
Yarımkontakt üsulunu istifadə edərkən pyezoskanedicinin z seksiyasına dəyişən gərginlik verilir (Şəkil 8-8). Bu kantileverin həndəsi ölçülərinin dəyişməsinə səbəb olur. Dəyişən gərginliyin tezliyi kantileverin məxsusi rəqs tezliyinə bərabər götürülür (adətən 150-250 kHs intervalında qiymətləri dəyişir, rəqs amplitudu isə bir neçə on anqstrem olur). Bunun nəticəsi olaraq kantilever səth üzərində rezonans tezliyi  $\omega_0$  olmaqla

rəqs edir:

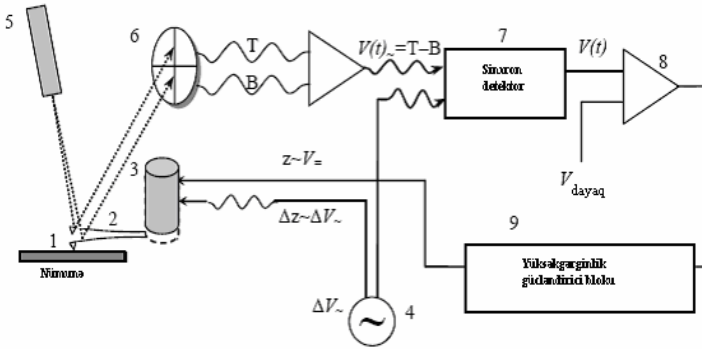
$$\omega_0 \sim \sqrt{\frac{k}{m}}, \text{ burada } m\text{-zond-kantilever sisteminin kütləsi, } k\text{-}$$

qüvvə sabitidir.

Nümunə səthinə zond yaxınlaşarkən kantileverin rəqslərinin xarakteri dəyişmiş olur, zond-nümunə qarşılıqlı təsir qüvvəsinin qradiyentinin olması kantileverin rəqsinin rezonans tezliyinin ATX dəyişməsinə səbəb olur. Cəzətmə qüvvələrinin oblastında bu səthdən uzaqda ATX ölçmələrlə müqayisədə (Şəkil 8-8) kantileverin rəqslərinin ATX sola yerinin dəyişməsinə səbəb olar. Belə ki, kantileverin məcburi rəqslərinin tezliyi sabit saxlanılır və sərbəst vəziyyətdəki rəqslərin  $\omega_0$  tezliyinə bərabər olur, bu zaman səthə yaxınlaşarkən kantileverin sərbəst ucunun rəqslərinin amplitudu azalmış olur. Bu rəqslərin amplitudu optik sistem vasitəsilə qeyd olunur və bu fotodetektorun yuxarı və aşağı yarım hissəsinin işıqlanmasının dəyişməsinə nəzərən təyin edilə bilər. Sonra sinxron detektor 7 vasitəsi ilə skanetmə vaxtı kantileverin rəqslərinin amplituduna mütənasib olan  $V(t)$  sabit siqnal seçilir. Bu zaman gərginlik generatordan sinxron detektora 7 sinxrosiqnal verilir və skanediciyə verilən siqnalın rezonans tezliyinə bərabər tezlikdə kantilever rəqs etmiş olur (Şəkil 8-9).



Şəkil 8-8. Kantileverin nümunə səthinə yaxınlaşması zamanı rəqslərin tezliyinin dəyişməsi



**Şəkil 8-9.** Skanedici atom-qüvvə mikroskopunun yarımkontakt üsulunda iş sxemi. 1-zond; 2-kantilever; 3-skanedici; 4-dəyişən gərginlik mənbəyi; 5-lazer; 6-dörd seksiyalı fotodetektor; 7-sinxron detektor; 8-komparator; 9-əks əlaqə elektron dövrəsi

Komparator 8 dövrədə qeydetmə qurğusu ilə qeyd olunan siqnalı ilkin verilmiş  $V_{\text{dayaq}}$  (zond-nümunə qarşılıqlı təsir qüvvəsini xarakterizə edən) müqayisə edərək  $V_{\text{dayaq}}$  qiymətindən meyl etməsinə görə  $V_{\text{kor}}$  edən siqnalı əmələ gətirir. Zondla səth arasında qarşılıqlı təsirin səviyyəsi əks əlaqə sisteminin 9 köməyi ilə zond çeviricini səthə yaxınlaşdırmaq və səthdən uzaqlaşdırmaq yerinə yetirilir. Əks əlaqə zondun vəziyyətinin dəyişməsinə istifadə edərək, pyezogətirmə idarəedicinin köməyi ilə zond-nümunə qarşılıqlı təsir qüvvəsini sabit saxlayır. Şəklinin hər bir (x, y) nöqtəsində Z hündürlüyü haqqında siqnal Z pyezogətirmə kanalından götürülür.

Bu üsul yüksək dəqiqliklə ayırd etmə imkanı ilə yumşaq və yapışqanlı nümunələrin (polimer, hüceyrə və bioloji molekullar) skan edilməsi üçün idealdır və ya daha möhkəm nümunələrin skan edilməsi zamanı isə zond möhkəm səthlə kontakt da olarkən kütəlməsinə və ya sınımasına səbəb ola bilər.

### Faza təzadı təsviri üsulu

Tədqiq olunan nümunə səthinin relyefini əks etdirən

zondun rəqs amplitudunun dəyişməsinin qeydiyyatı ilə eyni zamanda, rəqslərin faza dəyişməsinə aşkar etmək imkanı mümkündür.

Rəqs prosesində zondun ucu nümunə səthinə toxunur, nəinki o itələmə, həmçinin adqezion, kapilyar və bir sıra başqa qüvvələrin təsirlərinə məruz qalır. Nəticədə zond və nümunə səthinin qarşılıqlı təsiri həm tezliyə, həm də rəqsin fazasına görə sürüşməsi baş verir. Əgər səthin ayrıca hissələri adsorbsiya xüsusiyyətlərinə malikdirsə, onda şəkildə əlavə təzadə malik olacaqdır, bu nümunənin materialından asılı olub müxtəlif hissələrdə özünü göstərəcəkdir. Bu zondun rəqs fazasının dəyişməsində özünü göstərir. Rəqsin fazasının aşkar olunması, səthin relyefinin alınması ilə eyni zamanda baş verir, onda amplitud və faza şəkillərini müqayisə etməklə nümunənin faza tərkibi haqqında informasiya əldə etmək olar. Faza tərkibinin şəkildən titanın səthinin məsaməli struktura malik olmasını görmək olar, bu implantantda sümük saplarının yetişdirilməsində zəruridir.

Faza təzadə üsulu geniş sahədə tətbiq olunmasından qiymətli məlumat, bəzi hallarda şəkillərinin qeyri-adi təzadəli materialın xüsusiyyətləri haqqında məlumat əldə etməyə imkan verir. Bu üsul, məsələn bioloji obyektlərin, maqnit və elektrik xarakteristikaları olan nümunələrin tədqiqi üçün istifadə oluna bilər və i. a.

### **SZM şəkillərinə təsir edən faktorlar**

#### **Zondun həndəsi parametrlərinin ayırdetməyə təsiri**

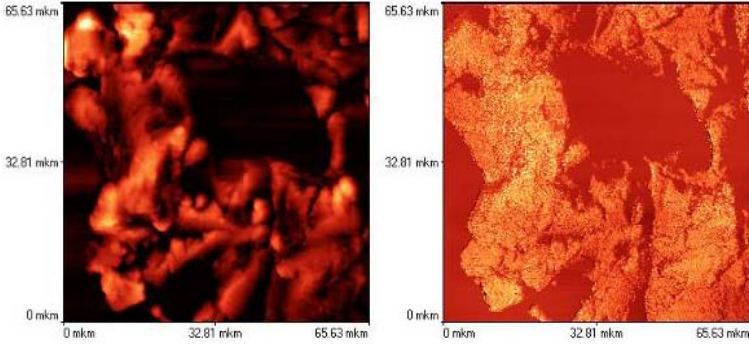
SZM - in hər bir X, Y və Z oxları üzrə maksimal ayırdetmə qabiliyyəti müxtəlif faktorlarla təyin olunur.

Z oxu üzrə ayırdetmə aşağıdakılarla məhdudlanır:

- Kantileverin əyilməsini qeyd edən optik sistemin həssaslığı ilə
- Nümunə səthinə nəzərən zondun rəqslərinin amplitudu ilə.

XY - müstəvisində maksimal ayırdetmə hər şeydən əvvəl zondun işləmə dəqiqliyi ilə təyin olunur. Ən əsası zondun ucunun həndəsi xarakteristikaları ilə bağlıdır. Atom müstəvi səth-

lərin skan edilməsi zamanı, ayırdetmə zondun ucundakı atomun ölçüləri ilə məhdudlaşır (Şəkil 8-11). Beləliklə zondun makroskopik forması atom səviyyəsində ayırdetmə üçün təyinedici deyildir.



**Şəkil 8-10. Titan diş implantantının hissəsinin səthinin relyefi (sağda), faza tərkibinin şəkli (solda)**

Relyefin çoxlu detallarının müqayisəli aşkarlığı vaxtı, şəklın keyfiyyəti iynənin həndəsi parametrləri ilə təyin olunur. Kritik olanları bunlardır: zondun sonunun əyrilik radiusu  $R$  və zondun hündürlüyünün onun oturacağıın diametrinə olan  $\frac{L}{W}$  nisbəti (Şəkil 8-13).

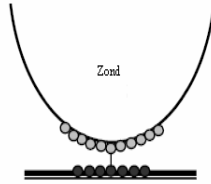
### **Zondun xüsusiyyətlərinin təsiri**

Atom-qüvvə mikroskopunda zond-nümunə qarşılıqlı təsir qüvvəsi elastiki kantileverin əyilməsinə görə ölçülür. Kantileverin ən mühüm xarakteristikaları-qüvvə sabiti(sərtlik əmsalı) və rezonans tezlikdir. Qüvvə sabiti zond və nümunə arasında kontaktda olarkən qüvvəni təyin edir və öz növbəsində kantileverin forması və hazırlandığı materialın növü ilə təyin olunur. Kontakt üsulu üçün çox kiçik qüvvə sabiti olan çox yumşaq kantilever istifadə olunur.

Yarımkontakt iş üsulunda sərt kantilever(qüvvə sabitinin böyük qiymətlərində) yumşaq kantileverə nəzərən böyük rezo-

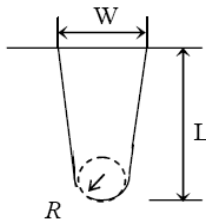


nans tezliyində malikdir. Rezonans tezlik kantileverin ölçülərindən və materialdan asılı olur. AQM üçün istifadə olunan kantileverlərin rezonans tezliyi 15÷500 kHs diapazonda dəyişir.

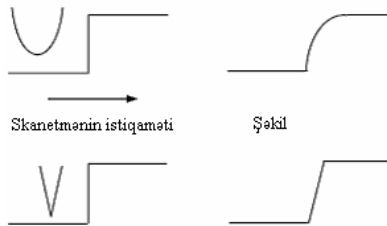


Tədqiq olunan nümunənin səthi

Şəkil 8-11. Axırncı atomun effekti



Şəkil 8-12. Zondun həndəsi parametrləri



Şəkil 8-13.  $\frac{L}{W}$  parametrinin sonlu qiyməti və iynə ucunun əyrilik radiusunun təsirinə nəticəsinin səth profilinin şəklindəki təhrifləri

**Nümunə səthindəki adsorbsiya təbəqəsinin SZM zondla qarşılıqlı təsir qüvvəsinə təsiri**

Havada nümunə səthi həmişə adsorbsiya olunmuş atomların nazik təbəqəsi ilə örtülmüş olur. Bu təbəqə sudan və ha-

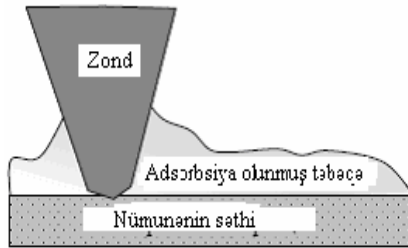
vanın başqa komponentlərindən, həmçinin nümunənin hazırlanması zamanı kontaktda olduğu maddələrin atomlarından, çirkənlərdən və i.a. ola bilər. Təbəqənin qalınlığı müxtəlif şəraitlərdən məsələn, havanın rütubətindən asılı olaraq  $2\div 50nm$  intervalı daxilində dəyişə bilər.

Zondun ucunun adsorbsiya təbəqəsinə toxunarkən kapillyar cəzətmənin nəticəsində güclü cəzətmə qüvvənin komponenti yaranmış olur. Kapillyar cəzətmə effekti həmçinin iynə səthdən uzaqlaşarkən çox güclü hiss olunur. Bu hal da tez-tez kapillyar qüvvələr zondun səthə yaxın yerdə elə möhkəm saxlayır ki, bu zondun nümunədən qoparmaq əvəzinə çox vaxt kantileverin zədələnməsinə səbəb olur (nümunə sanki yapışqanlıdır).

Zondun ucunun forması da zond və adsorbsiya təbəqəsi arasında qarşılıqlı təsirin xarakterinə güclü təsir edir. Kapillyar

qarşılıqlı təsir qüvvəsi böyük əyrilik radiusu və  $\frac{L}{w}$  nisbəti ki-

çik olan zondların istifadə olunması zamanı güclü hiss olunur. Əksinə iti uclu və R-əyrilik radiusunun kiçik qiymətləri üçün, zond kapillyar qüvvələrin təsirini az hiss edir, bu adsorbsiya təbəqəsinin kontakt sahəsinin az olmasına və səthdən zondun asanca qoparmağa imkan verir.



Şəkil 8-14. Nümunə səthində zondun adsorbsiya təbəqəsi ilə qarşılıqlı təsiri

### Nümunənin materialının təsiri

Nümunənin materialı zond və nümunə səthi arasındakı

qarşılıqlı təsir qüvvələrinin xarakterinə güclü təsir edir. Belə ki, müxtəlif materiallar müxtəlif adsorbsiya sabitlərinə malikdir və deməli adsorbsiya təbəqəsinin əmələ gəlməsinə meyllilik müxtəlifdir. Bundan əlavə bəzi materiallar statistik elektrik sahəsi yığmağa meyllidir, bu isə ilə səth arasında qarşılıqlı təsir qüvvəsinə hiss olunacaq dərəcədə təsir edə bilər və AQM ölçmələrin aparılmasını çətinləşdirir.

### **Preparatların hazırlanması və SZM - də tədqiqi**

Bu işdə skanedici zond mikroskopunun su mühitlərində mikrobiosenozların tədqiqində istifadə olunması təklif olunur: adı su və distillə edilmiş su.

#### **Nümunənin hazırlanması:**

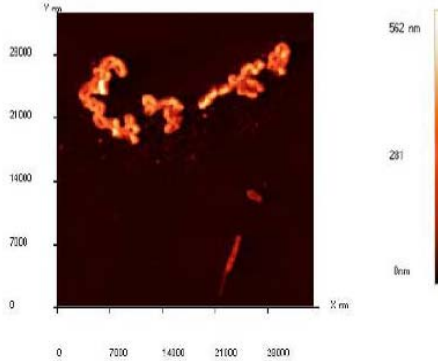
Su nümunəsi əvvəlcədən yağı təmiz silinmiş 1-2 həftəlik ekspozisiyalı dibində qoruyucu şüşə yerləşdirilmiş Petri fincanına tökülür. Petri fincanını bağlayıb 17<sup>0</sup>S-dən 20<sup>0</sup>S qədər temperaturda inkubasiya edirlər. Sonra şüşə çıxarılır, təmiz yuyulur (bir neçə dəfə preparat distillə olunmuş su olan stəkana salıb çıxarılır ) və qurudulur.

Sonra preparatın bir neçə hissələrində ümumi skanetmə prosesi aparılır, Suyun mikrobiotları son dərəcədə müxtəlifliyi ilə fərqlənir.

**I. Distillə olunmuş su.** Şəkil 8-15, Şəkil 8-16-da distillə edilmiş suda 1-2 həftə ərzində inkubasiya zamanı alınmış preparatların ümumi skan edilmiş şəkilləri verilmişdir. Adı suda inkubasiya olunmuş şüşə ilə müqayisəyə görə, qoruyucu şüşə kifayət qədər “təmiz” alınmış, mikroorqanizmlərin lokal yığılması qeyd olunmuşdur.

Bir neçə ümumi skan edilmiş şəkilləri alıb müşahidə edirik ki, distillə olunmuş suda olan preparatlarda 4 növ mikroorqanizmlər müşahidə olunur:

- çubuq formalı yetişmiş mikroorqanizmlər;
- dairə şəkilli zəncirdə yerləşən mikroorqanizmlər;
- düzgün çubuq formalı ayrıca yerləşən hüceyrə;
- spiral formalı dartılmış mikroorqanizmlər.



**Şəkil 8-15. Distillə edilmiş suda alınmış preparatın ümumi skan edilmiş şəkli. İnkubasiya - 1 həftəlik**

Skantmə oblastının ölçülərini kiçildib, marağ kəsb edən hər bir mikroorqanizmləri skanedərək(Cədvəl 8-1) bundan sonra **NanoEducator** proqramının alətlərinin köməyi ilə hüceyrələrin ölçüləri təyin edilir:

Distillə olunmuş suda tapılmış mikrobiotlar əsasən bakteriya formasında təsvir olunmuşdur. Bakteriyaların mənsubiyyət qrupunu və formalarını təyin etmək üçün Berci təyinedicisindən istifadə olunmuşdur[30]. Skanedici zond mikroskopun bakteriyaların morfoloji strukturu və onların ölçülərinin dəqiq təyin edilməsi üçün unikal vasitədir. Onların təsnifatını vermək üçün bakteriyaların morfolojiyasına(forması və bakteriyaların ölçüləri) əsaslanılır. Bundan əlavə, mikroorqanizmlərin yaşama mühiti və temperatur rejimləri nəzərə alınmışdır(su, adi orqanik birləşmələr və 17<sup>0</sup>S-dən 22<sup>0</sup>S-yə qədər temperatur).

**Bu kriteriyalar əsasında aşağıdakı nəticələr alınmışdır:**

1. Çubuqvarı formalı yetişmiş sonu tumurcuq şəkilli olan bakteriya. Formasına görə bu hüceyrələr tumurcuqlu və ya yetişmiş bakteriyalar 13-cü qrupa aiddirlər. Bakteriya hüceyrələrinin ölçüləri və yetişməsinə əsasən, onların miqdarına(çubuqvarı və yaşama mühitinə) görə belə nəticə çıxırı ki, tapılmış mikroorqanizmlər Prostecobacter fusiformis

növünə daxildir: hüceyrələr vereten və ya fibroid formaya və yetişməsi nəzərə alınmadan 0,5-0,9x2-5 mkm ölçülərə malikdir. Hər bir hüceyrə heç olmasa bir polyar aralıq yaradır. Aralığın diametri 0,1-0,2mkm olub, hüceyrə pol-yusuna nəzərən yavaşca sıxılır və sonunda qalınlaşma müşahidə olunur.  $\leq 0,1\%$  tərkibli orqanik maddələr mühitdə yaxşı böyüyürlər. İnkişaf etmə temperaturu  $1^{\circ}\text{S}$  dən  $40^{\circ}\text{S}$  kimidir. Suda, torpaqda və axar sularla rast gəlinir.

Bakteriyanın kifayət qədər maraqlı morfoloqiyası vardır (Şəkil 8-17).

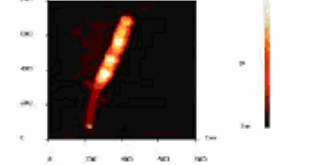
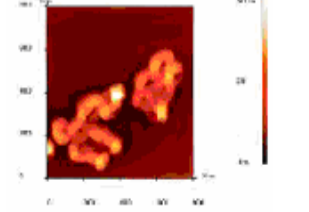
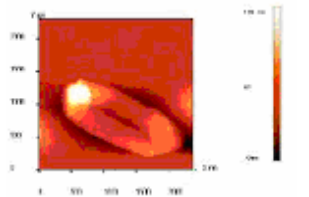
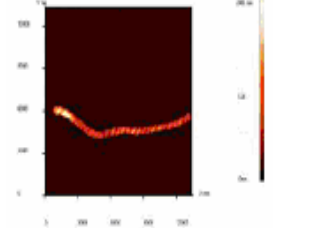
Daha aydın bakteriya hüceyrələrin səthinin strukturunu tədqiqi üçün, faza təzadının təsviri üsulu tətbiq olunur. Faza təzadı şəkillərindən aydın görünür ki, hüceyrə divarının struk-turu bircinsli deyildir.

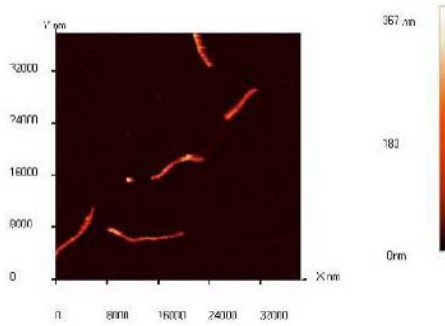
2. Xarakterik dairədə əyilmiş və qapalı, zəncir cisim formasına və diametrinə görə hörölmüş mikroorqanizmlər 3 “hərəkətsiz qrammənfilik əyilmiş bakteriyalar” qrupuna aiddirlər. Berci təyin edicisinə görə yaşama mühitini nəzərə almaqla bu bakteriyalar *Ancylobacter equaticus* və ya *Runella slithyfor-mis* görünüşlü qrupa aiddirlər. Daha dəqiq aydınlaşdırmaq üçün əlavə üsulların, məsələn biokimya testlərin tətbiq olunması tələb olunur.
3. Tədqiqatlar nəticəsində, su mühitlərdə unikal mikroorqa-nizmlər (Cədvəl 8-1: 1, 2) olduğu aşkar olunmuş, həmçinin bakteriya kimi digər yaşama mühitlərində, məsələn insanın normal mikroflorasına daxil olan və ya torpaq saprofitlərdə (Cədvəl 8-1: 3) rast gəlinəndiyi aşkarlanmışdır. Maraqlı misal olan (3) faza təzadı üsulunu istifadə edərkən xüsusi ilə dəqiq aydınlaşdırılmış düzgün çubuqvarı formalı sonlarında qidalanma maddəsi olan hüceyrələr aşkarlanmışdır (Şəkil 8-19).

Su mühiti üçün bakteriya unikal olmayıb və onların ölçüləri Berci təyin edicisinin siyahısında əksər qruplara uyğun gəlir, bakteriyaların qrup, say əlaməti və görünüş

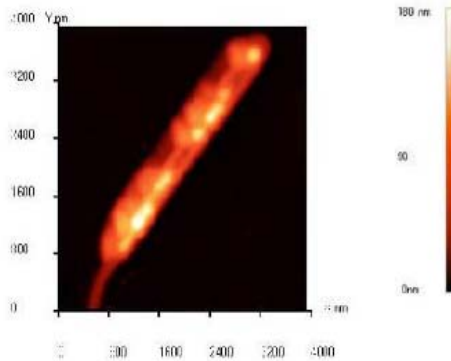
klassifikasiyası çox saylı əlavə tədqiqatların aparılmasını tələb edir(məsələn, Grama görə rəngləmə, biokimyəvi yoxlamalar və i.a.).

**Cədvəl 8-1.**

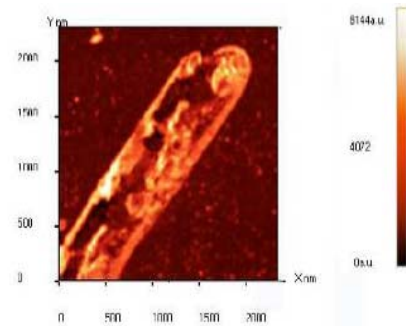
№	SZM şəkillər	Forma	Mikroorqanizmin orta ölçüsü
1		Çubuqşəkilli yetişmiş asanca əyilən, sonunda tumurcuq hamar daralan mikroorqanizmlər	Bütün hüceyrələr 0,8x7,5 mkm Diametri 450 mkn
2		Dairəşəkilli zəncirdə yerləşən mikroorqanizmlər	1,3dən 1,6 mkn
3		Ayrıca yerləşən düzgün cubuqvari formalı hüceyrə	0,8x2 mkn
		Spirala oxşar formalı dartılmış mikroorqanizmlər	0,5x13mkn



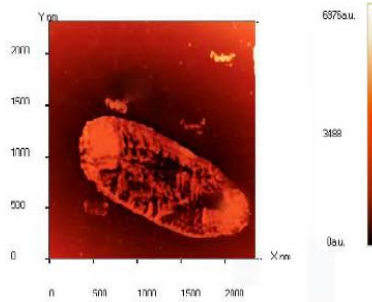
**Şəkil 8-16. Distillə edilmiş sudan alınmış preparatların ümumi skanedilmiş şəkli. İnkubasiya - 2 həftəlik**



**Şəkil 8-17. Prostecobacter fusiformis səthinin relyefi**



**Şəkil 8-18. Faza təzadının təsviri metodunun istifadə edərək aşkarlanmış hüceyrə divarının morfoloji xüsusiyyəti**



**Şəkil 8-19. Bakteriya hüceyrələrinin faza təzadı şəkilləri. Polyuslarda qidalanma maddəsinin çökməsinin aydın görünməsi**

4. Görülmüş spiral görünüşlü formalı mikroorqanizmlər «spiroxet» qrupuna aiddir. Spiral quruluşlu hüceyrə çoxtəbəqəli xarici membrana xidmət edir. Bu membran protoplazmatik silindr-sitoplazmatik membran və hüceyrə divarı ilə əhatə olunan nüvə örtüklü sitoplazmanı örtür. Spiral bağlanmış protoplazma silindr, telşəkilli ayaqlı periplazma ilə üz çəkilmişdir. Telşəkilli ayaqlı hissələr hüceyrənin hərəkətmə komponentinə xidmət edir. Başqa bakteriyaların telşəkilli ayaqlı hissələrdən fərqli periplazma telşəkilli ayaqlı spiroxet hüceyrə ilə üz çəkilmişdir, membran ilə əhatə olunan və tamamilə hüceyrə daxilində yerləşmişdir. Tapılmış mikroorqanizmlər hüceyrələrin forması və ölçülərinə görə onları Spirocheta plicatilis-spiral şəkilli hüceyrələrə aid olub, diametri 0,2-0,75 mkm və uzunluğu 5-250 mkm olub su mühitlərində yaşayır.

II. **Adi su.** Şəkil 8-21 adi suda 1-2 həftəlik inkubasiyasından alınmış preparatın ümumi skan edilmiş şəkliləri verilmişdir:

Qeyd edək ki, distillə olunmuş sudan alınmış şüşə preparatla müqayisəyə görə alınmış şəkillərdə bircinsli çirklənmələr alınmışdır. Sarı rəngli böyük həcmdə maddə toplanması müşahidə olunmuşdur (optik mikroskopda müşahidələr zamanı). Skan edərkən bu toplanmış maddələr özlülük və ya yapışqanlılıq

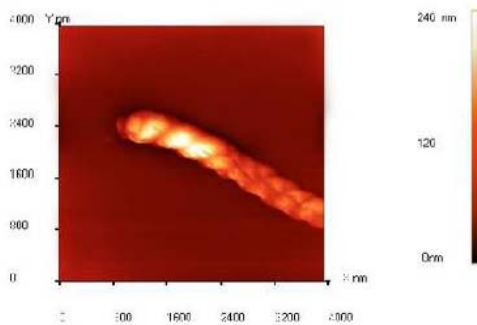


xüsusiyyətinə malik olduğundan onlar zonda yapışaraq tədqiqata mane olur (Şəkil 8-22). Bunlar morfoloji olaraq düzgün forma əmələ gətirmirlər. Bu çirklənmələr həm orqanik, həm də qeyri orqanik xarakterlidir(Qeyri-orqanik maddələrdəki mikrohissəciklər: dəmir oksidi, qum və ya digər qeyri-orqanik çirklər).

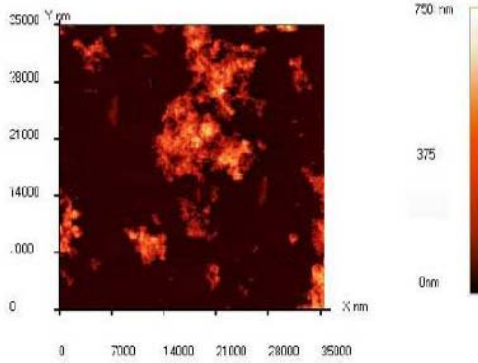
“Yapışqanlı” yığıntıda 2 növ bakteriya hüceyrələri aşkar edilmişdir:

Cədvəl 8-2 təsvir olunmuş bakteriya hüceyrələrinin böyük miqdarda onlarla çubuqşəkilli formalı xarakterik morfolojiyaları vardır. Fərz etmək olar ki, bu bakteriyalar kopsulu olan bakteriyalar tipinə aiddir. Verilmiş tip hüceyrələri aydınlaşdırmaq üçün əlavə tədqiqatların aparılması tələb olunur(Qrama görə rəngləmə, biokimyəvi əlamətlərin kompleks tədqiqi və i.a.). Bunlar bu laboratoriya işi daxilində deyildir.

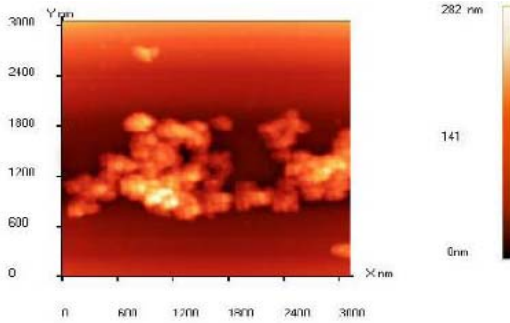
Sərbəst olaraq tələbələrin hazırladıqları, adi su, akvarium suyu və ya başqa müxtəlif mühitlərlə müqayisədə nümunənin mikroflorasını öyrənmək üçün qaynadılmış sudan istifadə etmək olar. Məsələn, müxtəlif duz məhlullarının qoruyucu şü-şədə qurudulması nəticəsində alınmış kristal tədqiq etmək olar (Şəkil 8-23).



Şəkil 8-20. AQM spirochet plicatilis şəklili. Hörülmə periodu 400nm




Şəkil 8-21. Adi sudan alınmış preparatların ümumi skanedilməsinin şəkli. İnkubasiya - 1 həftəlik



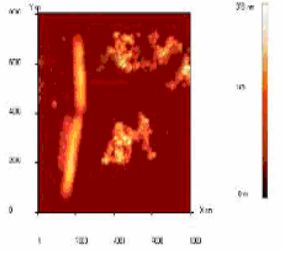
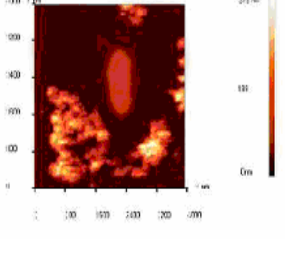
Şəkil 8-22. Adi sudakı mikrohissəciklər çirki

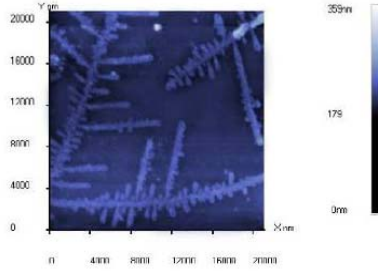
### SZM şəkillərinin alınması

**NanoEducator** proqramını çağırdıqdan sonra kompüterin ekranında baş pəncərə təsvir olunacaq(Şəkil 8-19). **File** menyusundan istifadə edərək **Open** və ya **New** və yaxud alətlər panelində uyğun düymələri seçməklə işə başlamaq olar. **File** ⇒ **New** komandasının seçilməsi SZM - də ölçmələrə keçməyi göstərir. **File** ⇒ **Open** komandasını seçmək isə əvvəllər alınmış şəkillərə baxılması və işlədilməsi başa düşülür. Proqram ölçmələrlə yanaşı həmçinin verilənlərin baxılmasına və həm də işlədilməsinə imkan verir.

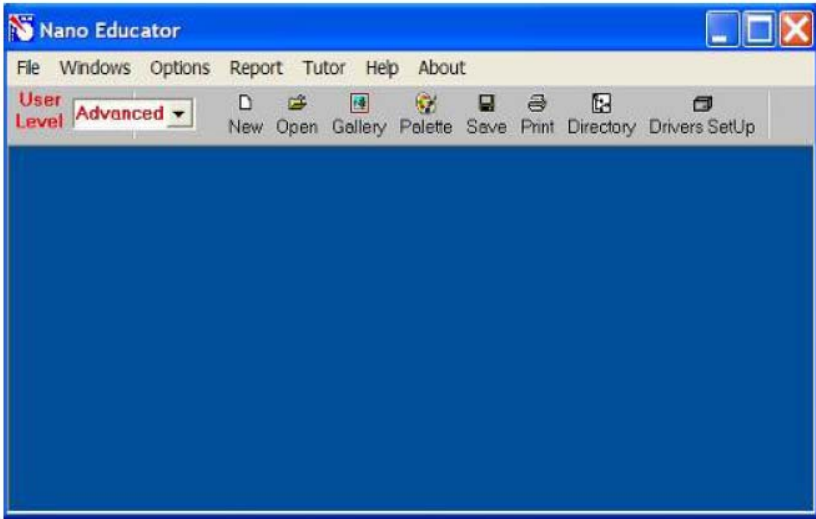
**File** ⇒ **New** komandasının icra olunmasından sonra ekranda dialoq pəncərəsi yaranmış olur, işçi qovluğu seçmək və ya yaratmaq imkanı yaranır və cari ölçmələrin nəticələrinin qovluğa yazılacağı nəzərdə tutulur. Ölçmə prosesini apararkən bütün alınmış verilənlər ardıcıl olaraq razılışmaya görə **ScanData+i.spm** adlı fayla yazılacaq, burada **i**-indeksi proqram işə düşərkən sıfır qiymətini alır və hər bir yeni ölçmələr üçün qiyməti artmış olur. **ScanData+i.spm** faylları işçi qovluqda yerləşdirilir. Hər yeni ölçmələrə başlamazdan əvvəl qərarlaşdırılır. Ölçmələr aparılan vaxtı başqa işçi qovluğun seçilməsi imkanı mövcuddur. Bunun üçün proqramın baş pəncərəsinin alətlər panelində yerləşən  düyməsini sıxmaq lazımdır.

**Cədvəl 8-2.**

№	SZM	Forma	Mikroorqanizmin orta ölçüsü
1		Uzun gərilmiş çubuqlar	0,5 x 3 mkm
2		Sonları bağlanmış çubuq şəkilli kiçik hamar.	0,6 x 1,6 mkm





Şəkil 8-23. NaCl damcısının qoruyucu şüşədə qurumasından alınan kristal



Şəkil 8-19. NanoEducator proqramının baş pəncərəsi

Skantmə pəncərəsində **Save Experiment** düyməsini sıxmaqla cari ölçmələrinin nəticələrini saxlamaq olar, yaranan dialoq pəncərəsində qovluğu seçmək və faylın adını göstərmək lazımdır, bu zaman **ScanData+i.spm** faylı ölçmələr aparılan proses vaxtı müvəqqəti fayl olub sizin göstərdiyiniz fayl adına dəyişəcək. Ölçmələrə başlamazdan əvvəl fayl seçdiyiniz işçi qovluqda saxlanılacaq. Əgər ölçmələrin nəticələri saxlanılmazsa onda yenidən proqramı işlədərkən **ScanData+i.spm**

müvəqqəti fayla yazılmış nəticələr ardıcıl olaraq yenidən yazılacaq(Əgər işçi qovluq dəyişməyibdirsə) proqramı bağlayarkən və yenidən işlədərkən işçi qovluqda ölçmələrin nəticələri olan müvəqqəti faylların mövcudluğu haqqında xəbərdaredici məlumat verilir. **ScanData** standart adını dəyişmək olar. Bunu işçi qovluğun seçilməsi pəncərəsində etmək olar. İşçi qovluğun seçilməsi pəncərəsi proqramın baş pəncərəsinin alətlər panelində yerləşən  düyməsini sıxmaqla həyata keçirilir. **SPM File Explorer** pəncərəsində ölçmələrin nəticəsini saxlamaq olar. Lazımı faylları növbə ilə seçərək seçilmiş qovluqda onları saxlamaq lazımdır. **NanoEducator** cihazı ilə alınmış nəticələri **ASCII** formatına çevirmək olar. Bunu **NT MDT** istifadə olunan **Nova** və başqa proqramlarla etmək olar. Skan edilmiş şəkillər həmçinin onların kəsikləri olan verilənləri **ASCII** formatına xaric edilə bilər. Verilənləri **ASCII** formatına xaric etmək üçün proqramın baş pəncərəsindəki alətlər panelində yerləşmiş **Export** düyməsini  sıxmalı və ya **File** menyusunun **Export** → **ASCII** rejimini seçmək lazımdır.

Dialog pəncərəsini bağladıqdan sonra ekranda cihazın idarə olunması paneli görünür (Şəkil 8-20). Cihazın idarə olunması panelinin sol hissəsində **SZM** - in konfigurasiyasını seçmək üçün düymələr yerləşir.

**SFM** -skanedic qüvvə mikroskopu (SQM)

**STM** -skanedic tunel mikroskopu (STM)



Şəkil 8-20. Cihazın idarəetmə paneli

SQM ölçmələrinə hazırlıq aşağıdakı əməliyyatların yerinə yetirilməsindən ibarətdir:

### **Nümunənin yerinə qoyulması**

Nümunəni qoymazdan əvvəl zondun zədələnməməsi üçün zond çeviricisini çıxarmalı.

Nümunənin bərkidilməsinin iki üsuluna baxılır:

- maqnit üzərində (bu halda nümunə maqnit altlıq üzərinə bərkidilməlidir);

- ikitərəfli yapışqanlı lent vasitəsilə metal üzərində nümunə yerləşdirilməlidir.

İkitərəfli lentdə olan nümunəni qoymaq üçün dirəkdən saxlayıcını burmaqla açmaq (skanedicini zədələnməmək üçün), sonra isə dayağa qədər onu yavaşca bağlamaq lazımdır. Maqnit bərkidilmə halında, nümunənin dəyişdirilməsi altlığı açmadan və ya bağlamadan həyata keçirilir:

### **Zond çeviricisinin yerinə qoyulması**

Zond çeviricisinin yerinə qoyulması həmişə nümunənin yerinə qoyulmasından sonra yerinə yetirilməlidir. Çevirici 1 əl ilə gətirmə vinti ilə saat əqrəbinin istiqamətində fırlatmaqla yuxarı vəziyyətə gətirilir (Şəkil 8-21). Ölçü başlığının qapağında 2 zond çeviricisinin vintini boşaldıb, zonu saxlayıcının yuvasına qoymalı və qeydedici vinti saat əqrəbi istiqamətində yüngülcə bərkitmək lazımdır (Şəkil 8-21).



Şəkil 8-21. Zond çeviricisinin yerinə qoyulması

### **Skametmənin yerinin seçilməsi**

Nümunə üzərində tədqiq olunan yerin seçilməsi üçün

cihazın aşağı hissəsində yerləşmiş iki koordinatlı stoldakı yerdəyişmə vintlərindən istifadə olunur.

### **Əvvəlcədən zondun nümunəyə yaxınlaşdırılması**

Hər bir ölçmə üçün zondun qabaqcadan yaxınlaşdırılması əməliyyatı zəruri deyil. Onun zəruriliyi nümunə və zond arasındakı məsafənin qiymətindən asılı olaraq yerinə yetirilir. Əgər zondun ucu ilə nümunə səthi arasındakı məsafə 0,5-1mm-dən böyükdürsə, onda zondun nümunə səthinə yaxınlaşdırılması əməliyyatının aparılması məqsədə uyğundur. Zondla nümunə arasındakı məsafə böyük olarsa zondun nümunəyə avtomatik yaxınlaşması prosesinə çox vaxt tələb olunacaqdır.

Zondu aşağıya salmaq üçün əl ilə gətirmə vintindən istifadə edilir. Bu zaman zond və nümunə səthi arasındakı məsafəyə vizual olaraq lupa vasitəsi ilə nəzarət etmək lazımdır.

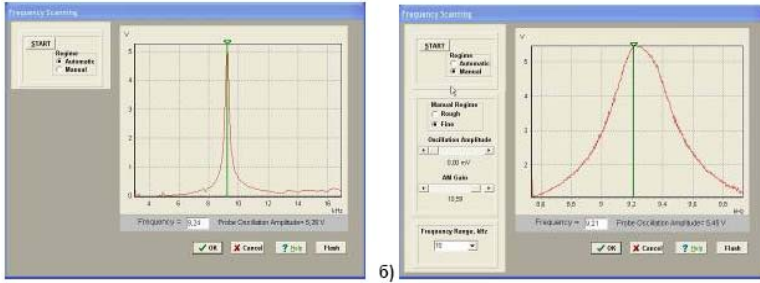
### **Rezonans əyrisinin qurulması və işçi tezliyin müəyyən edilməsi**

Hər bir təcrübəni aparmazdan əvvəl bu əməliyyatın yerinə yetirilməsi zəruridir və bunu etmədən gələcək ölçmələrin mərhələlərinə keçid bağlıdır. Bundan sonra ölçmə prosesi zamanı elə vəziyyət yaranır ki, bu əməliyyatın təkrar yerinə yetirilməsi tələb olunur (məsələn, kontakt itərkən).

Rezonans axtarışı **ADJUST⇒RESONANCE** əmri ilə yerinə yetirilir. Bu əməliyyatın yerinə yetirilməsi deyərkən, generator tərəfindən verilən məcburi rəqslərin tezlikləri dəyişərkən, zondun rəqs amplitudunun ölçülməsi nəzərdə tutulur. Bunun üçün **Run** düyməsini sıxmalı.

Avtomatik rejimində zondun rəqs amplitudunun müşahidə olunan maksimal qiymətinə bərabər generatorun tezliyi avtomatik təyin olunur. Verilmiş tezlik diapazonunda zondun rəqs amplitudunun dəyişməsini göstərən qrafikdən rezonans pikinin formasını müşahidə etməyə imkan verir(Şəkil 8-22a). Əgər rezonans piki aydın ifadə olunmayıbdırsa və ya rezonans tezliyində amplitud kiçikdirsə(1V aşağı), onda ölçmələri aparmaq üçün parametrləri dəyişmək zəruridir və rezonans

tezliyini təkrar təyin etmək lazımdır.



Şəkil 8-22. Rezonansın axtarışı rejimi pəncərəsi və işçi tezliyin təyini: a) - avtomatik rejim; b) - əl rejimi

Bunun üçün **Manual** rejimi istifadə olunur. Bu rejimi seçərkən **Frequency Scanning** pəncərəsində əlavə panel yaranır (Şəkil 8-22 b) və aşağıdakı parametrləri korrektə etməyə imkan verir:

-Generator tərəfindən verilən rəqs amplitudu(**Oscillation Amplitude**). Bu kəmiyyətin qiymətinin minimal verilməsi təklif olunur (sıfıra kimi də olar) və 50 mv böyük olmasın.

-Amplitudu gücləndirən əmsal(**AM Gain**). Zondun rəqs amplitudunun kifayət qədər böyük olmayan qiymətlərində(<1V) bu əmsalın qiymətinin artırılması məsləhətdir(təklif olunur). Rezonansın axtarışına başlamaq üçün **Run** düyməsini sıxmaq lazımdır.

**Manual** rejimi mışın köməyi ilə seçilmiş tezliyi qrafikdə yaşıl kursurun yerini dəyişməklə etmək olar, həmçinin seçilmiş tezliyin kiçik qiymətlərinin diapazonunda rəqslərin amplitudunun dəyişmə xarakteri nəzərə alınır(bunun üçün **Manual Regime Fine** vəziyyətini seçərək **Run** düyməsini sıxmaq lazımdır).

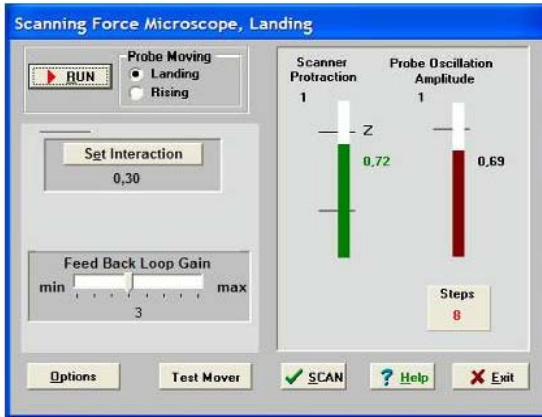
### Qarşılıqlı təsirin alınması

Qarşılıqlı təsirin alınması avtomatik gətirmə mexanizminin köməyi ilə zond və nümunə yaxınlaşmasının idarəetmə prosedurası ilə yerinə yetirilir. Cihazın idarəetmə panelindəki





düyməsini sıxmaqla bu proseduranı çağırmaq olar. SQM-lə işləyərkən rezonans tezliyin axtarışı və qurulması əməliyyatından sonra bu düyməyə imkan yaranır. **Scanning Force Microscopy, Landing** (Şəkil 8-23) pəncərə-sində zondun yaxınlaşmasını idarə edən elementlər yerləşir, həmçinin proseduranın yerinə yetirilmə gedişini analiz etməyə imkan verən idikasiya parametrləri vardır.



Şəkil 8-23. Qarşılıqlı təsirin alınması rejiminin pəncərəsi

**Landing** pəncərəsi istifadəçiyə aşağıdakı kəmiyyətləri müşahidə etməyə imkan verir:

- Z oxu üzrə skanedicinin maksimal mümkün uzaqlaşmasını (yuxarıya qalxması) (**Scanner Protraction**) vahid qəbul olunmuşdur. Skanedicinin qalxmasının cari vəziyyəti uyğun sol indikatorun dolması səviyyəsinin rəngi ilə xarakterizə olunur: yaşıl rəng-işçi zona, göy rəng-iş zonasından kənar, qırmızı rəng-skanedici nümunə səthinə çox yaxınlaşmışdır və bu zondun deformasiyasına (zədələnməsinə) gətirib çıxarar. Sonuncu halda proqram xəbərdaredici səs verir.
- Qarşılıqlı təsir qüvvəsinin olmamasına uyğun olaraq zondun rəqs amplitudu (**Probe Oscillation Amplitude**) vahid qəbul edilir. Zondun rəqs amplitudunun qiyməti sağ indikatora çəhrayı rənglə dolması səviyyəsi ilə göstərilir. **Probe Oscillation**

**Amplitude** indikatorundakı üfüqi nişan skanedicinin vəziyyətinin analiz edilməsi və onun avtomatik işçi vəziyyətinə çıxmasını göstərir.

-Verilmiş istiqamətdə (**Probe Moving**) gedilmiş (**Steps**) addımların sayıdır: **Landing**-yaxınlaşma, **Rising**-uzaqlaşma.

Zondun aşağı salınması prosesinə başlamazdan əvvəl zəruridir:

1.**Probe Moving** elementində **Landing** (yaxınlaşma)

imkanının seçilməsinə əmin olmalı.

2.Yaxınlaşma parametrlərinin düzgün verilməsini yoxlamaq:

- Əks əlaqə dövrəsində **Feed Back Loop Gain** - gücləndirmə əmsalı 3 qiymətinə bərabər götürülür.

- **Set Interaction** düyməsini sıxaraq və **Set Interaction** pəncərəsində **Amplitude Suppression** (Şəkil 8-24)

parametrinin qiyməti 0,3 bərabər olmasını yoxlamaq.

3. **RUN** düyməsini sıxmaq.

**Steps** indikatoru keçilmiş addımları hesablamağa başlayır. Qarşılıqlı təsirin əmələ gəlməsindən sonra ekranda **Landing done** məlumatı yaranır.

Zondu əks əlaqədən çıxarmaq, zond və nümunə arasındakı məsafənin artırılması üçün zondun uzaqlaşması rejimindən istifadə olunur (**Probe Moving: Rising**). Uzaqlaşma əməliyyatının yerinə yetirilməsi üçün **Probe Moving: Rising** hərəkət istiqamətini seçmək zəruridir və **RUN** düyməsini sıxmalı.

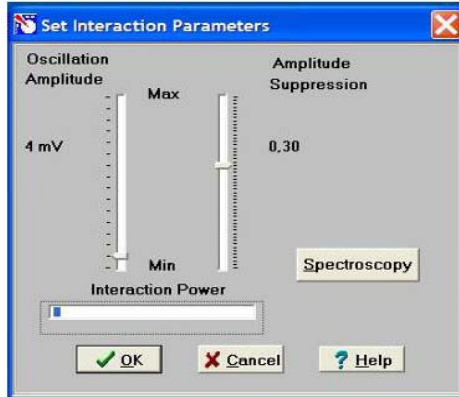
### **Skanetmə**

Yaxınlaşma (**Landing**) prosesinin yerinə yetirilməsindən sonra və qarşılıqlı təsirin əmələ gəlməsindən sonra skanetmə mümkün olur (cihazın idarə olunması pəncərəsində



düyməsi). Bu düyməni sıxaraq(Şəkil 8-25 də skanetmə pəncərəsinin şəkli verilmişdir) istifadəçi bilavasitə ölçmələrin aparılmasına və ölçmələrin nəticələrinin alınmasına başlayır.

Skanetmə rejimində skanetmənin parametrlərinin daxil edilməsi zəruridir. Bu parametrlər **Scanning** pəncərəsinin yuxarı sağ hissəsində qruplaşdırılıbdır.



Şəkil 8-24. Zond və nümunə qarşılıqlı təsirinə kəmiyyətlərinin verilməsi pəncərəsi

Proqramı birinci dəfə işlədərkən bu kəmiyyətlərin qiymətləri razılaşmaya görə qəbul olunur:

**Skantmə sahəsi**      **Scan Area (Xnm\*Ynm):** 5000 \* 5000;

**Oxlar üzrə ölçmə**

**nöqtələrin sayı**

**Skantmənin sürəti**

**Skantmənin yolu**

**X, Y: NX = 100, NY = 100;**

**Velocity = 1000 nm/s;**

**Path** skantmənin istiqamətini müəyyənləşdirir. Proqram sürətli skantmənin ox istiqamətini seçməyə imkan verir(X və Y).

Proqramla işə başlayan zaman

**Path =X+** qəbul olunur.

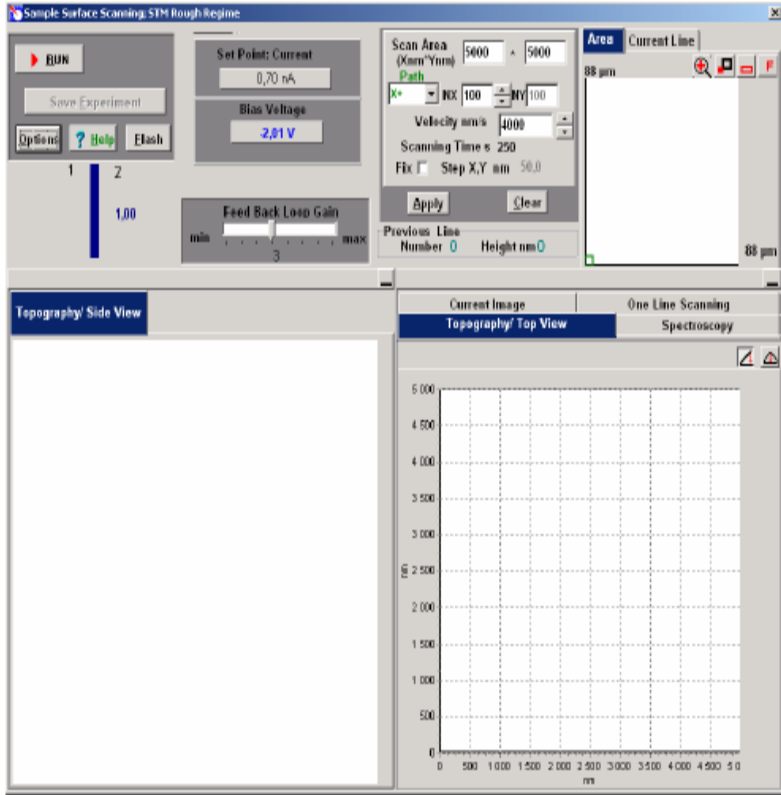
Skantmə parametrlərini verdikdən sonra, daxil edilmiş parametrlərin qəbul olunması üçün **Apply** düyməsini və skantməyə başlamaq üçün **Run** düyməsini sıxmaq lazımdır.

Cari ölçmələrin nəticələrinin saxlanması üçün skantmə pəncərəsində **Save Experiment** düyməsini sıxmaq lazımdır və bu zaman görünən dialoq pəncərəsində qovluğu seçməli və faylın adını göstərməli.

### 8.3. Metodik göstərişlər

**NanoEducator** skanedici zond mikroskopunda işləməyə

başlamazdan əvvəl cihazdan istifadə qaydalarını öyrənmək zəruridir[7].



Şəkil 8-25. SQM skanetmə və nəticələrinin təsviri prosesinin idarə olunması pəncərəsi

#### 8.4. Tapşırıq

1. Sizi maraqlandıran mühit seçərək və müstəqil bioloji nümunələri SZM-də tədqiq etmək üçün hazırlayın.
2. Təcrübədə **NanoEducator** cihazının ümumi konstruksiyasını öyrənin və **NanoEducator** cihazın idarə olunması proqramı ilə tanış olun.
3. **NanoEducator** optik sistemindən istifadə edərək, nümunə

səthin maraqlandıran hissələrini seçib SZM-də bir neçə ümumi skanetmənin şəkillərini almalı.

4. Sizi maraqlandıran mikroorqanizmlər və ya sadə orqanizmləri seçərək, faza təzadı üsulunu tətbiq etməklə səthin skanedilməsini aparın.
5. Alınmış şəkillərin işlənilməsi və analizini aparıb, alınmış sadə və ya böyümüş bakteriyaların aydınlaşdırılmasına çalışın.

### **8.5. Yoxlama sualları**

1. SZM-in əsas müxtəlifliyini deyin.
2. AQM əsas iş üsullarını və onların təyinatını təsvir edin.
3. SZM şəkillərinə təsir edən faktorları deyin.
4. Faza təzadı ölçmələri üsulu nə üçün istifadə olunur?
5. Bioloji obyektlərin SZM tədqiqatları hansı imkanlar verir?