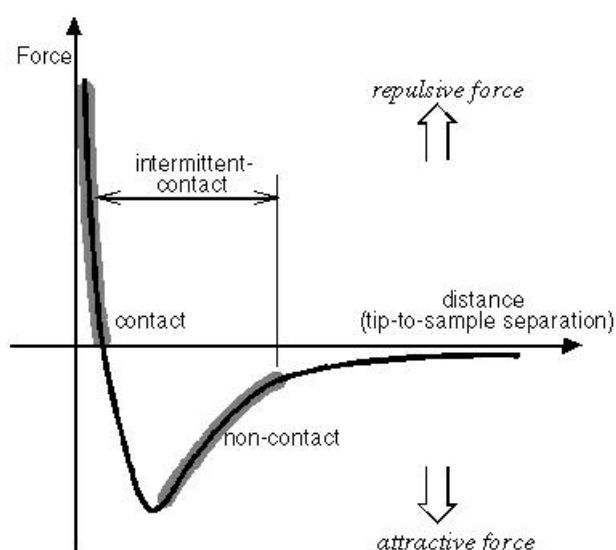


## 1. 2 Mikroskopie atomové síly

Mikroskopie atomové síly (Atomic Force Microscopy – AFM) využívá sondu, která rastruje povrch vzorku ostrým hrotem. Hrot, několik mikrometrů dlouhý s průměrem okolo 10 nm, je umístěn na volném konci raménka (cantileveru), které je dlouhé 100 až 200  $\mu\text{m}$ . Vzájemné silové působení mezi hrotem a povrchem vzorku způsobuje ohyb a odklon raménka. Speciální detektor registruje během rastrování hrotu po povrchu vzorku tyto změny a na základě změřených výchylek raménka je generována počítačem povrchová topografie vzorku.

Narozdíl od STM, mohou být AFM přístroje použity ke studiu izolantů a polovodičových materiálů, a samozřejmě i ke studiu vodičů. Některé síly přispívají zásadním způsobem k výchylce AFM raménka. U AFM jsou tyto síly nejčastěji spojeny s meziatomovou van der Waalsovou silou. Závislost van der Waalsovy síly na vzdálenosti hrotu od povrchu vzorku je ukázána na obr. 1-3.



Obr. 1 – 3 Závislost meziatomové van der Waalsovy síly na vzdálenosti hrotu od povrchu vzorku

V grafu na obrázku 1-3 jsou tučně vyznačeny dva režimy vycházející ze vzdálenosti: 1 – kontaktní režim a 2 – nekontaktní režim. V kontaktním režimu udržuje hrot raménka od povrchu vzorku vzdálenost menší než několik desetin nm a síla mezi atomy přicházejícími do interakce (mezi hrotem a povrchem) je odpudivá. V nekontaktním režimu je hrot udržován ve vzdálenosti řádově jednotek až desítek nm od povrchu vzorku, kdy je již síla mezi atomy vzorku a hrotu přitažlivá. Oba režimy jsou detailněji rozebrány v dalších kapitolách.

### 1.2.1 Kontaktní režim AFM

V kontaktním (odpudivém) režimu, udržuje AFM hrot jemný „fyzický kontakt“ se vzorkem. Hrot je připojen ke konci raménka, které má tuhost nižší než je vazebná síla mezi atomy, držícími atomy vzorku pohromadě. Kontaktní síly způsobují během rastrování hrotu po povrchu vzorku ohyb a výchylky raménka v korespondenci se změnami topografie povrchu vzorku. Síla potřebná pro kontaktní režim je patrná na obr. 1 – 3.

Na pravé straně křivky jsou atomy ve větší vzdálenosti od sebe a jak se mění postupně vzdálenost atomů, slabě přitahují jeden druhého. Tato přitažlivá síla se zvyšuje

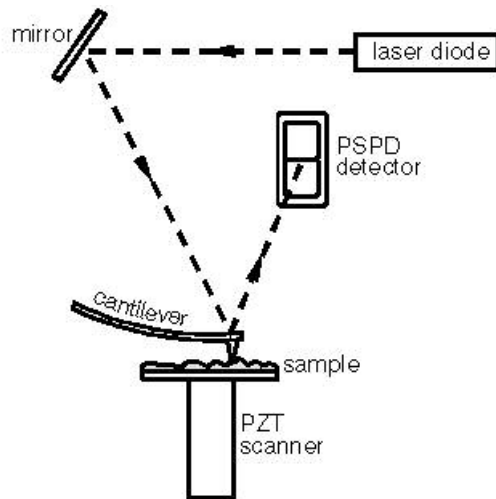
do té doby, dokud jsou atomy tak blízko sebe, až se překrývají jejich elektronové oblaky. Potom následuje elektrostatické odpuzování. Toto elektrostatické odpuzování postupně zeslabuje přitažlivou sílu. Síla se blíží nule, jestliže vzdálenost mezi atomy dosáhne přibližně délky chemické vazby, což je několik desetin nanometru. V okamžiku, kdy je celková van der Waalsova síla kladná (odpudivá), atomy se dotýkají.

Strmost van der Waalsovy křivky je v odpudivém neboli kontaktním režimu velká. Odpudivé van der Waalsovy síly eliminují síly usilující o přitlačení atomů blíže k sobě. V AFM to znamená, že když raménko tlačí hrot proti povrchu vzorku, dochází spíše k ohybu raménka než k interakci atomů vzorku a hrotu. Pouze v případě užití tuhého raménka s hrotem se uplatní síla mezi hrotem a povrchem vzorkem, což pravděpodobně způsobí deformaci povrchu. Toho může využít například nanolitografie.

Kromě odpudivé van der Waalsovy síly popsané dříve, vznikají v průběhu kontaktního AFM režimu další dvě síly: síla kapilární (vlivem povrchového napětí), uplatňující se v tenkých vrstvách kapaliny a obvykle daná okolním prostředím a síla vytvářející se v raménku samotném. Kapilární síly vycházejí z přítomnosti vody v okolí hrotu. Při silách, které udržují hrot v kontaktu s povrchem (okolo  $10^{-8}$  N), závisí velikost kapilární síly na vzdálenosti hrotu od povrchu vzorku. Síly vycházející z vlastního raménka souvisí s tuhostí raménka a jeho ohybu.

Celková síla, kterou hrot působí na vzorek je výslednicí sil kapilárních a sil vyvolaných v raménku. Tato výsledná síla musí být kompenzována odpudivou van der Waalsovou silou. Velikost výsledné síly hrotu na vzorek kolísá od  $10^{-8}$  N (např. při tažení raménka přes vzorek kdy je hrot přitahován vodou) do obvyklejších operačních mezí  $10^{-7}$  až  $10^{-6}$  N.

Většina stávajících AFM přístrojů dostupných na trhu, detekuje pozici raménka s hrotem optickou cestou. Nejběžnější schéma je na obr. 1- 4.



Obr. 1 – 4 Schéma detekce povrchové topografie

Laserový svazek se odráží od raménka na souřadnicový fotodetektor, který je schopen registrovat změny pozice dopadajícího laserového svazku (PSPD–Position Sensitive Photodetector). Jakmile se raménko odkloní, pozice stopy laserového paprsku na detektoru se změní. Citlivé fotodetektory mohou registrovat změny posunutí menší než 1 nm. Poměr optické dráhy mezi raménkem a detektorem k délce samotného raménka, vytváří mechanické zesílení. Výsledkem je, že systém detekuje sub–nanometrové vertikální posuny hrotu raménka.

Jiné metody detekce ohybu raménka jsou založeny na interferenci světla. Jedna z dílčích elegantních technik je konstrukce raménka z piezoelektrického materiálu, který detekuje ohyb raménka na základě změny elektrického napětí. V tomto případě laser a fotodetektor není nutný.