

GIULIO CESARE TRABACCHI

CAPO DEL LABORATORIO DI FISICA DELL'ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

79. IL MICROSCOPIO ELETTRONICO (*)

Il nostro occhio presenta una limitazione nella percezione degli oggetti molto piccoli. Quando due punti sono così vicini che l'angolo visuale, sotto il quale sono visti, è inferiore ad un minuto primo, noi li vediamo confusi in un punto solo. Questa limitazione è dovuta essenzialmente all'incapacità fisiologica della nostra retina di darci sensazioni distinte, quando due stimoli luminosi si producono in due punti molto vicini.

Alla distanza di 25 centimetri, noi vediamo bene un capello; alla distanza di un chilometro un tronco d'albero di circa 30 cm.; e sulla luna vedremo distinti i bordi di un cratere largo 112 km.

Ci sfuggono i particolari dell'interno del cratere, non vediamo un animale che cammina sul tronco dell'albero; e ugualmente si dica per i particolari della superficie del capello.

Si dice « potere risolutivo » dell'occhio la più piccola distanza che può intercedere fra due punti posti a 25 cm. dall'occhio perchè le loro immagini siano distinte. Per quanto ho detto, questo potere risolutivo risulta essere per l'occhio normale dell'ordine di 100 micron, ossia $1/10$ di millimetro.

Se noi vogliamo vedere oggetti più piccoli, occorre che, con opportuni sistemi ottici, presentiamo al nostro occhio immagini di questi oggetti ingrandite, in modo che siano viste sotto un angolo visuale maggiore.

La lente di ingrandimento, detta anche microscopio semplice, permette di aumentare alquanto questo angolo visuale, per gli oggetti vicini, perchè presenta all'occhio un'immagine di essi, che è vista sotto un angolo due o tre volte maggiore; in questo modo l'occhio può distinguere oggetti di dimensioni metà o un terzo di quelle di un capello.

Noi possiamo, però, usare sistemi di lenti più complessi in quella disposizione che si suole chiamare « microscopio composto ». Questo, come tutti sanno, consta di tre sistemi ottici.

(*) Conferenza tenuta il 18 giugno 1947 nell'aula magna dell'Istituto Superiore di Sanità per i soci dell'Associazione Elettrotecnica Italiana.

Il primo è destinato a convogliare sul piccolo oggetto da osservare una sufficiente quantità di luce, acciocchè l'immagine ingrandita, che l'occhio dovrà vedere, sia sufficientemente luminosa: questo è il cosiddetto condensatore.

Il secondo sistema (fig. 1), detto obiettivo, equivale ad una piccola lente a fuoco assai corto, posta così vicino all'oggetto, che

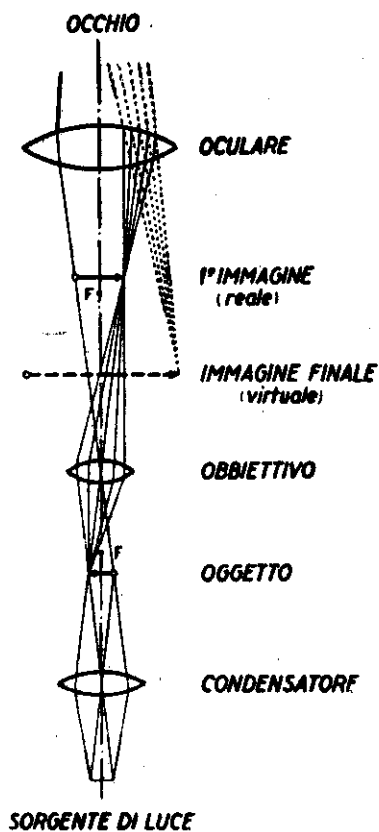


Fig. 1.

questo si trova al di là del suo fuoco. Ne risulta che in un certo piano dalla parte opposta si forma una prima immagine dell'oggetto, che può essere assai ingrandita. Questa immagine può essere proiettata sopra uno schermo e guardata direttamente, ma, in generale, si preferisce farla cadere tra il fuoco ed il centro ottico di una lente, che così funziona come la lente d'ingrandimento: in modo che l'occhio posto dinanzi ad essa vede, per così dire, attraverso un microscopio semplice, l'immagine reale ed ingrandita data dall'obiettivo. L'ingrandimento che ne risulta è perciò il prodotto dei due ingrandimenti; e, poichè la tecnica moderna, studiando la opportuna forma delle superficie e delle lenti e la qualità dei vetri che le compongono, è in grado di fare delle lenti quasi perfette, ne risulta che, se si fanno considerazioni semplicemente geometriche, non sembra

esservi alcun limite all'ingrandimento, se si prescinde dalla luminosità dell'immagine, che diminuisce col crescere della sua grandezza.

Bisogna però pensare che la lunghezza d'onda delle radiazioni meglio visibili dal nostro occhio è di circa mezzo micron; ebbene, quando gli oggetti che noi osserviamo al microscopio sono

più piccoli di questa lunghezza d'onda, la luce gira, per dir così, intorno ad essi, senza serbare traccia della loro esistenza sul suo cammino. Ne consegue che nel microscopio c'è una limitazione insormontabile, che ci impedisce di vedere oggetti più piccoli di qualche decimo di micron. Quale è dunque il massimo ingrandimento utile di un microscopio ottico? E' evidente che quando $1/4$ di micron — che rappresenta il potere risolutivo di un buon microscopio — è stato ingrandito a 100 micron, raggiungendo così il potere risolutivo dell'occhio, cioè si è realizzato un ingrandimento 400, l'occhio è già in grado di vedere tutto ciò che è possibile vedere col microscopio ottico. Se noi ingrandiamo ancora di più, per es. fino a 1000 volte o più, l'occhio si affaticherà di meno, ma non si potranno scoprire ulteriori particolari dell'oggetto osservato. Per ottenere ciò occorrerebbe una luce di minore lunghezza d'onda; e, infatti, usando luce ultravioletta — che però ci permette solo di fare microfotografie, perchè il nostro occhio non la percepisce — si può raddoppiare il potere risolutivo del microscopio; pur rimanendo sempre nel campo dei decimi di micron.

* * *

Nel 1924 DE BROGLIE pose le fondamenta della meccanica ondulatoria, che tanta influenza doveva avere per gli sviluppi della moderna fisica teorica, e stabilì il concetto nuovo e fondamentale di onda associata a corpuscoli in movimento. Poco dopo si ebbe la più brillante delle conferme sperimentali con la scoperta della diffrazione degli elettroni; e da allora questi vennero considerati come radiazioni, la cui lunghezza d'onda è data dal quoziente tra la costante universale h di PLANCK e la quantità di moto mv dei corpuscoli. Pur con velocità moderata, la lunghezza d'onda associata ad elettroni in movimento è assai più piccola di quella della luce; e, con campi elettrici anche modesti, noi possiamo imprimere agli elettroni accelerazioni tali che essi possono, in pochi millimetri di percorso, raggiungere considerevoli velocità. Basta un campo di appena 60.000 Volt per centimetro per conferire agli elettroni una lunghezza d'onda 100.000 volte più piccola di quella della luce.

Per poter utilizzare questa speciale luce per strumenti ottici, occorre trovare il modo di farla riflettere e rifrangere come avviene per la luce ordinaria.

L'anno scorso, parlandovi dell'energia del nucleo atomico e della sua utilizzazione, ebbi incidentalmente occasione di mostrarvi delle tracce di elettroni fotografate nella camera di Wilson (tav. III). Vi mostrai, tra le altre, questa fotografia (tav. IIIb), dove si vedono elettroni che attraversano un campo magnetico uniforme. Le loro traiettorie ne risultano incurvate. Facendo passare gli elettroni attraverso un campo di forma conveniente, si possono ottenere deviazioni perfettamente analoghe a quelle che subiscono i raggi luminosi attraversando le lenti; si possono pertanto fare delle lenti magnetiche tali che tutti gli elettroni provenienti da un certo punto, passando per qualunque punto della lente, si incontrino in un altro punto, che è la sua immagine. Lo stesso si può ottenere per mezzo di opportuni campi elettrici. Si hanno così lenti magnetiche e lenti elettriche. E queste lenti elettriche e magnetiche tutti noi le abbiamo usate per molti anni, senza renderci conto delle loro possibilità.

Infatti, fin dal 1905, il fisico americano RANKIN aveva scoperto che, mettendo una bobina cilindrica coassialmente ad un tubo di Braun — il glorioso predecessore dell'attuale oscillografo catodico — si poteva concentrare il fascetto elettronico divergente, in modo da ottenere sullo schermo un puntino molto piccolo. Regolando la corrente nella bobina, si vedeva mutare l'aspetto del puntino; e, per un certo valore della corrente, si notava che il puntino sullo schermo riproduceva l'aspetto della parte del catodo, da cui uscivano gli elettroni. La bobina di Rankin è stata la prima lente magnetica.

Nel 1906, WEHNELT aveva messo, sempre nel tubo di Braun, tra catodo e anodo un cilindretto metallico portato ad un potenziale negativo rispetto al filamento: regolando questo potenziale, si otteneva lo stesso risultato che con la bobina di Rankin. L'elettrodo di Wehnelt rappresenta il primo esempio di lente elettrica.

Man mano che la teoria di DE BROGLIE veniva sviluppata, si andò formando la convinzione che questa luce elettronica poteva essere vantaggiosamente impiegata; e quando nel 1926 il prof. BUSCH di Jena fece la teoria dell'azione di una bobina come lente, nacque l'ottica elettronica, con lo scopo di usare gli elettroni negli strumenti ottici in generale, ed in particolare nel microscopio, nel quale specialmente si riscontrava essere vantaggioso l'impiego

di radiazioni di piccola lunghezza d'onda. Abbiamo visto, infatti, che la limitazione all'ingrandimento che è possibile ottenere dal microscopio ottico è dovuta al fatto che il potere risolutivo dello strumento è dell'ordine di grandezza della lunghezza d'onda della luce impiegata. Come vi ho detto, con gli elettroni si possono facilmente ottenere delle lunghezze d'onda 100.000 volte minori di quelle della luce ordinaria e, se occorresse, ancora più piccole; si vede perciò immediatamente che il potere risolutivo del microscopio elettronico dovrebbe essere almeno 100.000 volte più piccolo di quello del microscopio ottico.

Però le lenti magnetiche ed elettriche, malgrado i perfezionamenti apportati da RUSKA, da MAHL e da altri, presentano ancora notevoli aberrazioni, per cui noi siamo obbligati a diaframmare molto, riducendo così enormemente l'apertura del microscopio. Questo porta due conseguenze; una di esse è favorevole: poichè con una apertura così piccola, come quella usata nel microscopio elettronico, si ha una profondità di fuoco enorme rispetto a quella dei migliori microscopi ottici; se la sorgente di elettroni è ben fatta ed è facile dirigere bene il fascio lungo l'asse dell'apparecchio, malgrado la piccola apertura, la luminosità dell'immagine finale è ottima.

L'altra conseguenza è invece svantaggiosa: perchè, diminuendo l'apertura, diminuisce anche il potere risolutivo, che perciò allo stato attuale è solo $1/50$ di quello del microscopio ottico, vale a dire circa 5 millimicron.

Già però in queste condizioni, per raggiungere il potere risolutivo dell'occhio — 100 micron — ci conviene ingrandire almeno 20.000 volte; ed è questo che si fa nei moderni microscopi elettronici, nei quali si realizzano ingrandimenti che vanno da 10.000 a 40.000 diametri.

Come vi ho detto, le lenti per gli elettroni possono essere realizzate con campi magnetici ed elettrici; ed i risultati ottenuti sono stati ottimi, sia con le une, sia con le altre. I primi microscopi elettronici costruiti in Germania, tra il '37 ed il '38 dalla A.E.G., dalla Siemens e da Von Ardenne, e poi in America dalla R.C.A., hanno utilizzato con successo ambedue i sistemi. Dal punto di vista pratico, per molte considerazioni, noi abbiamo trovato pre-

feribile l'uso delle lenti magnetiche per realizzare il microscopio, che abbiamo costruito.

Quando dico noi, mi riferisco alla mia collega Daria BOCCIARELLI, che con me ha progettato la costruzione dell'apparecchio.

SORGENTE DI LUCE

SORGENTE DI ELETTRONI

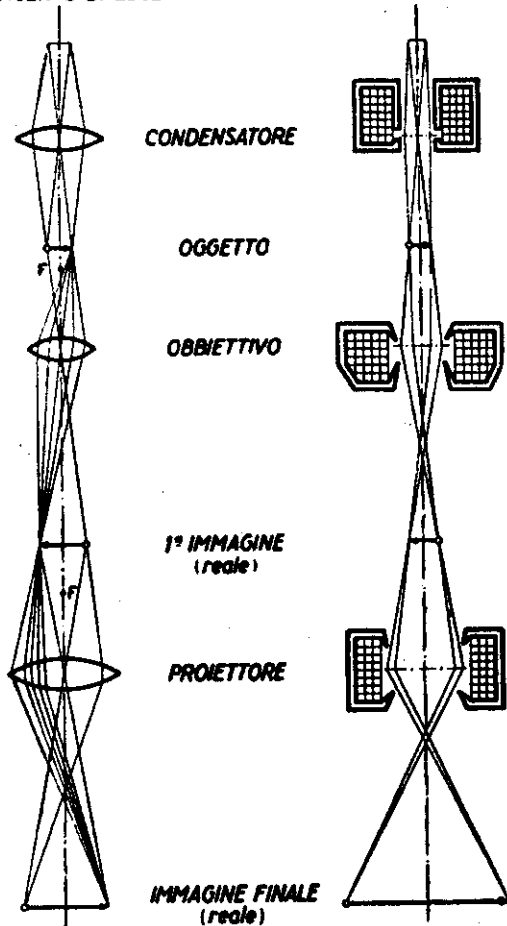


Fig. 2.

Comincio col mostrarvi uno schema (figura 2): gli elettroni provenienti da un filamento reso incandescente incontrano una prima lente magnetica, il condensatore, e sono così concentrati sull'oggetto che si vuole vedere ingrandito. L'oggetto viene posto vicino al fuoco di una seconda lente magnetica di breve distanza focale. Questa lente, come l'obiettivo del microscopio ottico, proietta ad una certa distanza l'immagine reale dell'oggetto, che capita dinanzi ad una terza lente magnetica — il proiettore — nelle stesse condizioni nelle quali si trovava l'oggetto ri-

spetto all'obiettivo. In tal modo questa terza lente proietta l'immagine finale sopra uno schermetto fluorescente, che è posto alla base del tubo e che può essere veduto da parecchi osservatori attraverso apposite finestre. Nello stesso modo si usa il microscopio ottico, quando si vuole che l'immagine finale sia reale per poter fare delle microfotografie. In questo caso si allunga il tubo nello

strumento in modo che l'immagine data dall'obiettivo cada vicino al fuoco dell'oculare il quale dà per ciò sul vetro smerigliato o sulla lastra fotografica la immagine finale.

Nel microscopio elettronico, poichè gli elettroni non si vedono, si sfrutta la proprietà che essi hanno di rendere fluorescenti certe sostanze, come ad es. il platinocianuro di bario ed il penta-decilparatolilchetone. E con una di queste sostanze si fa uno schermo, sul quale si vede molto bene l'immagine finale. Per mettere rigorosamente a fuoco questa immagine si fa variare in modo opportuno la corrente nell'obiettivo.

Vi dirò ora quale è la realizzazione pratica di questo schema, fatta da noi per il nostro Istituto. Mi è necessario, però, premettere due parole di storia per spiegarvi la ragione per cui ci siamo dedicati a questa costruzione.

Quando nel 1938 vennero costruiti i primi microscopi elettronici, il nostro Direttore Generale, che in ogni occasione cerca di fornire i nostri Laboratori dei più moderni mezzi di studio, decise di acquistare uno di questi apparecchi e diede al Laboratorio di Fisica l'incarico della scelta. Noi ritenemmo conveniente proporre l'acquisto del microscopio costruito dalla Siemens di Berlino.

Al principio del 1943 questo apparecchio, ordinato nel 1939, fu montato nel laboratorio di Fisica a disposizione dei biologi dello Istituto; molti dei presenti ricorderanno l'illustrazione, che in questa stessa sala ne fece il dott. BODO VON BORRIES della Siemens, che insieme al dott. RUSKA ne aveva fatto il progetto e diretta la costruzione.

DARIA BOCCIARELLI imparò in sei giorni, invece dei sei mesi previsti dai tedeschi, il modo di far funzionare il microscopio; ed in breve tempo furono eseguite importanti ricerche in collaborazione fra lei ed i professori BABUDIERI, BIETTI, CAVALLI e STRAMPELLI.

Vennero poi i tristi giorni dei bombardamenti di questa parte di Roma, poi l'8 settembre; e dopo un mese, cioè l'8 ottobre 1943, d'ordine del Comando Militare Germanico, il microscopio veniva ritirato per essere « posto al sicuro » con la promessa di restituircelo dopo « l'immane vittoria ». Noi non ponemmo molta fiducia in questa promessa; ed infatti il giorno dopo che fu portato via il microscopio, essendo rimasti molto spiacenti che il nostro Istituto

fosse stato privato di tale apparecchio, accettammo la proposta del nostro Direttore Generale di costruirne un altro nella nostra officina.

In poche settimane fu pronto il progetto costruttivo e furono comperati i materiali occorrenti alla costruzione, e cioè un piccolo apparecchio per raggi X, che con convenienti modifiche doveva diventare la sorgente della tensione continua e costante di 100.000 Volt per l'alimentazione, ed i lingotti di ferro, che dovevano costituire il corpo dell'apparecchio. Per fare la cassetta fotografica, che sta alla base dell'apparecchio, fu destinato il bronzo di un busto, che era sostenuto da una di queste colonne e che i tempi mutati avevano relegato in un magazzino.

I nostri meccanici si misero subito al lavoro, malgrado le difficoltà del momento; infatti molte volte al giorno il lavoro doveva essere sospeso a causa dei bombardamenti sempre concentrati su questa zona.

Nel giugno del 1944 metà dell'apparecchio era fatta, ma l'esecuzione della seconda metà fu resa ancor più difficile dalle irregolarità della distribuzione dell'energia elettrica.

La costruzione di un microscopio elettronico implica una grande precisione nella esecuzione delle singole parti. Il nostro apparecchio consta di otto pezzi, che sono posti uno sull'altro e tenuti uniti, oltre che dal peso, anche dalla pressione atmosferica. Infatti nell'interno c'è il vuoto, perchè gli elettroni, che sono facilmente assorbiti e deviati da spessori anche sottili di materia, devono propagarsi nel vuoto piuttosto spinto.

I vari pezzi, che costituiscono il microscopio, possono essere, quando occorre, rapidamente smontati, ma debbono, anche senza speciali cure, poter tornare al loro posto, con un errore non superiore al centesimo di millimetro.

Vi sono poi delle parti, come ad es. il diaframma dell'obiettivo, che implicano una precisione ancora maggiore: infatti detto diaframma deve essere centrato con un errore non superiore a due o tre micron.

Tuttociò richiede, oltre all'abilità dei meccanici, l'uso di speciali apparecchi, che per necessità noi abbiamo dovuto costruire.

Le espansioni polari delle lenti sono fatte con leghe magnetiche, che abbiamo dovuto preparare; ciò ha richiesto molto tempo,

cosicchè l'apparecchio è stato montato e provato solo alla fine del 1946 (tav. I).

Mettiamo ora in relazione questa figura con lo schema che vi ho presentato poc'anzi.

Alla sommità dell'apparecchio si trova il catodo, da cui sono emessi gli elettroni; esso è contenuto nell'interno dell'elettrodo di Wehnelt, che è portato ad un conveniente potenziale negativo rispetto al filamento.

Gli elettroni, che escono dal foro dell'elettrodo di Wehnelt, vengono accelerati nel breve intervallo, che intercorre fra il catodo e l'anodo, che, essendo sostenuto dal corpo metallico dell'apparecchio, è in comunicazione con la terra.

Attraverso il foro praticato nell'anodo, gli elettroni penetrano lungo l'asse del condensatore, che mediante apposite viti, può, durante il funzionamento, essere orientato come occorre per dirigere il fascio elettronico lungo l'asse dell'apparecchio.

Gli elettroni poi attraversano il foro di un grosso rubinetto che, come vedremo in seguito, serve a mettere e levare il preparato; e successivamente passano nell'obiettivo, che proietta la prima immagine dinanzi al proiettore; questo a sua volta, come già sapete, proietta l'immagine finale sullo schermo fluorescente posto in basso, che si vede attraverso le apposite finestre. Sotto c'è la cassetta fotografica, di cui vi ho già fatto cenno.

Prima di entrare nei particolari del funzionamento vi mostro alcune delle microfotografie che otteniamo (tav. IV-X). In queste fotografie, oltre a soggetti di carattere tecnico da noi fotografati per provare il funzionamento del microscopio da noi costruito, si vedono delle fotografie che si riferiscono ai lavori in corso dei professori BABUDIERI, PENSO e SCANGA sull'azione degli antibiotici nei batteri. Naturalmente si tratta di bacilli morti, perchè finora non è stato possibile realizzare sistemi pratici per osservare al microscopio elettronico organismi viventi, essendo ciò inconciliabile col vuoto e col bombardamento elettronico.

* * *

Vi spiegherò ora come si fa funzionare questo microscopio.

La cassetta che si vede in alto (fig. 3) contiene una batteria di accumulatori per accendere il filamento ed una batteria di pile che fornisce la tensione per l'elettrodo di Wehnelt.

Sia la tensione applicata al filamento, sia quella data all'elettrodo di Wehnelt, si comandano dal basso con le manopole 1 e 2 e si controllano con gli strumenti 3 e 4 che si vedono in alto; questi

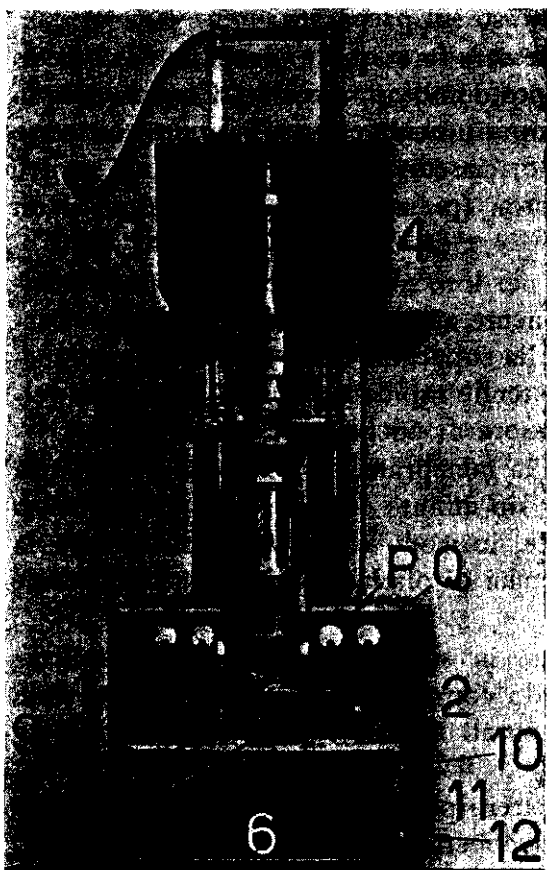


Fig. 3.

Nella camera vicina si trova l'impianto per l'alto ed il basso vuoto, costituito da una pompa rotativa e da una pompa a diffusione a vapori di mercurio. In questa stanza è collocato anche il generatore dell'alta tensione, il quale è alimentato da corrente a tensione e frequenza costanti, fornite da un convertitore, mosso da una grossa batteria di accumulatori.

E' essenziale per il buon funzionamento di un microscopio elettronico, che non vi siano variazioni nella tensione di alimentazione, perchè ad esse corrisponderebbero variazioni della lunghezza d'on-

strumenti hanno i quadranti luminosi, in modo da poterli vedere anche stando al buio.

Poichè la cassetta che comunica con il catodo situato alla sommità di questo tubo viene portata ad un potenziale di circa 100 mila Volt, i comandi degli organi di regolazione vengono fatti mediante bacchette isolanti.

L'anodo, come ho detto, è messo a terra, in modo che gli operatori vengono a trovarsi notevolmente lontani dalle parti sotto tensione; una lastra di cristallo impedisce qualunque accidentale contatto con l'alta tensione.

da degli elettroni e quindi perturbazioni, che ne impedirebbero il funzionamento. La corrente è pertanto raddrizzata con una valvola e livellata con un filtro. Il fascio elettronico attraversa il condensatore, ed è regolando la corrente che vi passa che l'operatore concentra più o meno il fascio stesso sul preparato.

Vediamo ora come deve essere fatto questo preparato e come lo si mette e lo si toglie dal suo posto nell'apparecchio. Come mostra la tavola XI a, si dispongono sopra un conveniente supporto un certo numero di dischetti di platino, ciascuno dei quali porta nel centro un forellino di circa 50 micron (presso a poco la sezione di un capello).

Questi dischetti, situati nei loro alloggiamenti, vengono sommersi in una vaschetta, contenente acqua (tav. XIb), e con una bacchetta di vetro si fa cadere sulla superficie della medesima una goccia di zaponlack. Questa si estende rapidamente alla superficie dell'acqua, assumendo uno spessore di pochi millesimi di micron.

Allorchè si giudica che la membrana sia divenuta abbastanza consistente, il che avviene in un minuto circa, si apre un rubinetto che sta in fondo al recipiente, in modo che l'acqua discenda e la membrana si adagi sui diaframmi di platino, chiudendo i fori come tanti tamburelli.

I diaframmi si asciugano in stufa a moderata temperatura; quindi (tav. XIIa), prelevando con un'ansa di platino dalle varie provette una goccia dei preparati da osservare, si depongono le gocce sui diaframmi pronti.

Occorre aver cura di mettere poca materia sui diaframmi, perchè altrimenti gli elettroni verrebbero assorbiti in troppo grande misura ed il preparato verrebbe distrutto dall'eccessivo calore sviluppato.

Il diaframma da osservare, quando è asciutto, viene chiuso dentro al supporto S e questo è a sua volta avviato in un apposito cilindro cavo (tav. XIIb), il quale mediante la manopola 5 (che comanda una cremagliera posta dentro al rubinetto R) si è fatto sporgere convenientemente in avanti.

Ciò fatto, il diaframma viene tirato dentro al rubinetto (tavola XIIIa); questo vien fatto girare in modo (tav. XIIIb) che il preparato entra nel tubo vuoto. La piccola quantità di aria, che con questa manovra entra nel tubo, viene istantaneamente trascinata

via dalle pompe, ed il preparato viene intanto fatto scendere (tavola XIVa) in basso in modo da portarsi vicino al fuoco dell'obiettivo.

Come ho già detto, l'immagine data da questo si forma su uno schermetto posto alla base del cilindro, che sta tra l'obiettivo ed il proiettore. Questa prima immagine serve all'operatore per regolarsi nelle manovre di spostamento dell'oggetto. Ed infatti il cilindro che porta l'oggetto, nello scendere per opera della già descritta cremagliera, si è introdotto a dolce attrito nel foro di una specie di tavolinetto, che può subire dall'esterno spostamenti in tutti i sensi, mediante leve che si comandano dal basso per mezzo di due colonnine. Naturalmente si tratta di piccoli spostamenti, perchè al massimo devono essere della grandezza del preparato, e cioè di una cinquantina di micron. Con questi spostamenti, tutti i punti dell'immagine del diaframma possono passare per un piccolo foro, fatto in centro allo schermetto; e gli elettroni, che così vi passano, proseguono incontrando il proiettore, che proietta di questa parte del diaframma un'immagine finale sullo schermo fluorescente $6,5 \times 9$ posto in fondo all'apparecchio e che può essere osservato dall'esterno, attraverso le tre finestre circolari che si vedono in basso, dall'operatore e da due o più studiosi.

Quando si vede qualche cosa che interessa fotografare, si centra il quadro nel modo che si ritiene più opportuno, si perfeziona la messa a fuoco, regolando con cura la corrente nell'obiettivo mediante il reostato 6 posto insieme agli altri sul pannello inferiore e, sollevando per un istante lo schermo fluorescente (il che può essere fatto attraverso un cono a tenuta di vuoto), si lasciano cadere gli elettroni sopra una lastra fotografica, che con opportuna manovra era stata scoperta nella sottostante cassetta fotografica.

Per cambiare la lastra (tav. XIVb) si richiude prima lo chassis, che la contiene, girando la manopola 7, (fig. 3), che, sempre attraverso un cono a tenuta di vuoto, fa scorrere verso sinistra uno sportello, che, mentre riporta al suo posto il volet dello chassis, viene a piazzarsi tra lo chassis e la finestra che è chiusa dallo schermo fluorescente. Girando la chiave 8 (tav. XVa) si muove allora internamente — sempre attraverso un cono a tenuta — un eccentrico, che spinge lo sportello contro la parete superiore della cassetta, facendo così con una guarnizione di gomma una chiusura ermetica tra cassetta e microscopio. Si può allora fare entrare l'aria nella sola

cassetta, aprire lo sportello 9, cambiare lo chassis, (tav. XVb) rifare il vuoto nella cassetta, mediante la pompa preparatrice, dopo di che, girando l'eccentrico 8, si ristabiliscono le comunicazioni; e tutto è così pronto per un'altra fotografia. La pompa a diffusione riporta infatti subito il vuoto al valore occorrente per il funzionamento.

Tutte queste operazioni avvengono in un tempo più breve di quello che io ho impiegato a descriverle, in modo che le fotografie possono succedersi con notevole rapidità. Le variazioni di collegamento delle pompe tra loro e con l'apparecchio si fanno con speciali rubinetti, che si comandano con le manopole 10, 11 e 12 (fig. 3).

Il controllo del vuoto è fatto mediante gli strumenti P e Q, che danno uno l'indicazione del vuoto preparatorio, l'altro quella dell'alto vuoto.

* * *

Il « principio » del microscopio elettronico è certamente destinato a portare un grande contributo al progresso della scienza. Mentre sappiamo che ben pochi progressi potranno essere fatti nel campo della microscopia ottica, a causa della insormontabile difficoltà di migliorarne il potere risolutivo, per il microscopio elettronico dobbiamo ancora perfezionare le lenti per sfruttare tutti i vantaggi provenienti dalla piccolezza delle lunghezze d'onda già raggiunte. Quando questo sarà stato ottenuto, avremo già poteri risolutivi mille volte più piccoli di quelli di adesso; sarà perciò conveniente raggiungere ingrandimenti mille volte superiori e cioè di 20 milioni; e se non ritenessimo opportuno abbreviare ancora le lunghezze d'onda con l'aumento del campo acceleratore, ci sarà ancora da tentare un'altra via per ottenere onde più corte, ed in conseguenza migliorare il potere risolutivo.

DE BROGLIE ci ha insegnato, infatti, che la lunghezza dell'onda associata ad un corpuscolo in movimento è, come ho detto poc'anzi, inversamente proporzionale alla massa del corpuscolo stesso: se noi usassimo, al posto degli elettroni, dei corpuscoli di massa qualche migliaio di volte maggiore, come ad es. protoni o deutoni, potremmo guadagnare ancora un fattore 1000 nel potere risolutivo, e perciò nell'ingrandimento. Non è quindi improbabile che, in un futuro non troppo lontano, il nostro occhio possa, per questa via, pene-

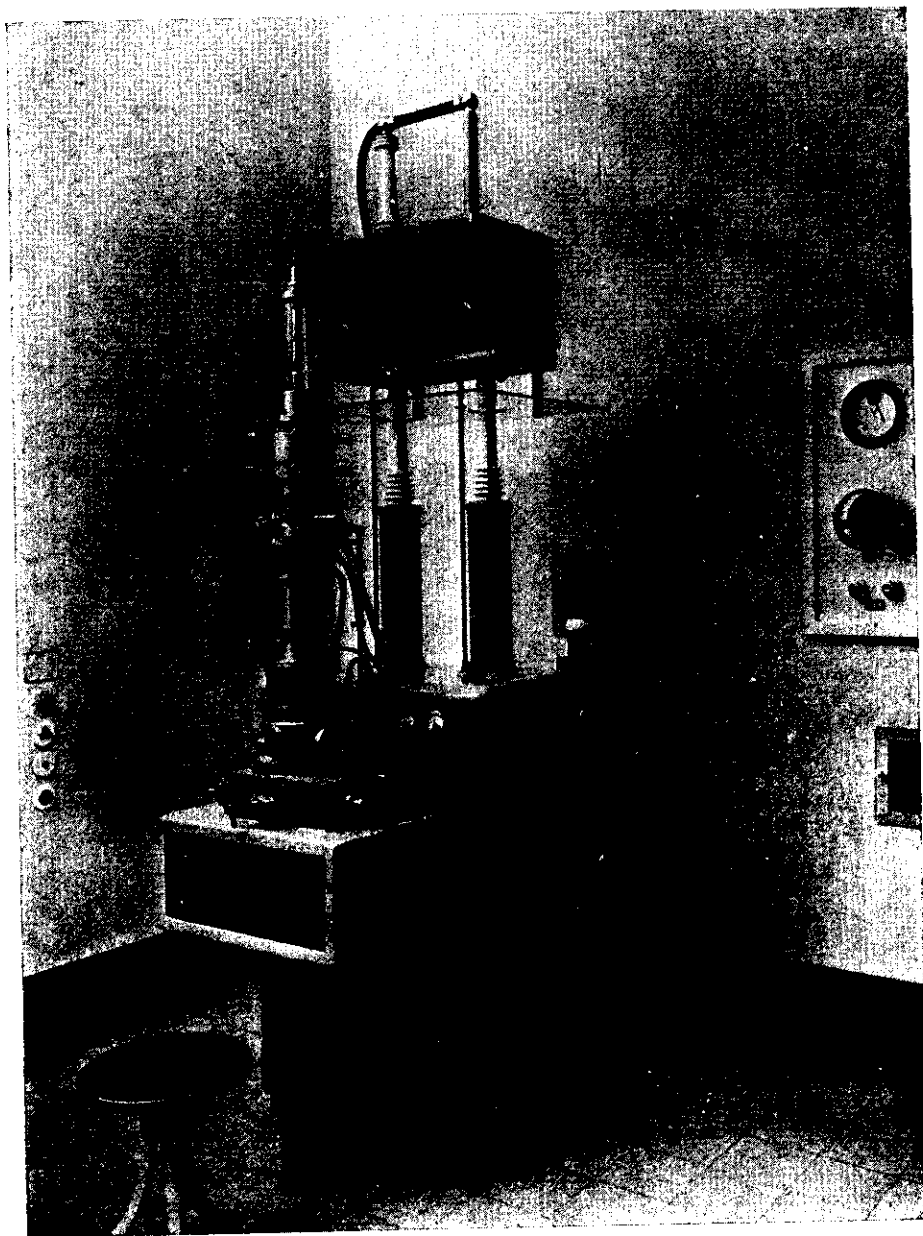


Tavola I

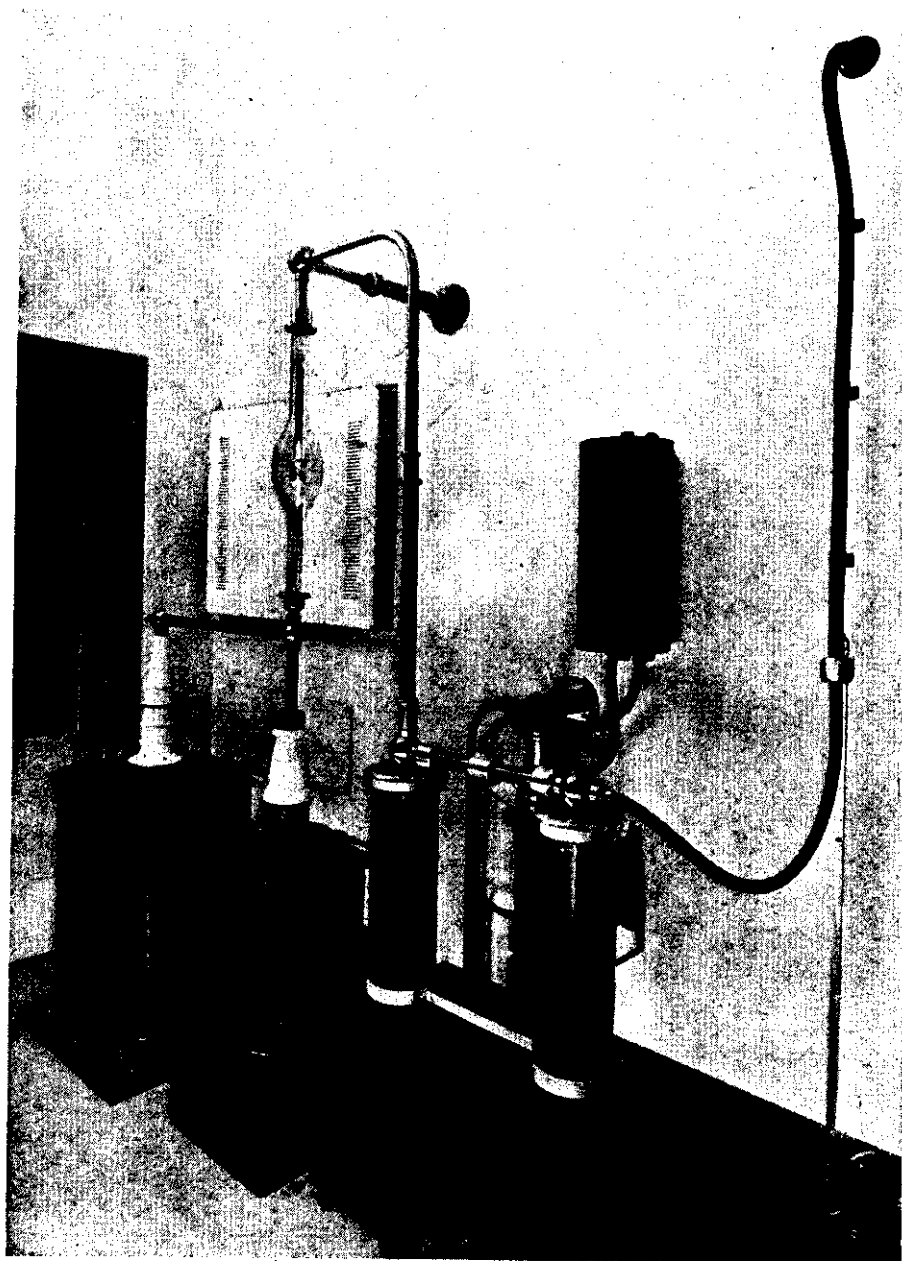


Tavola II

a

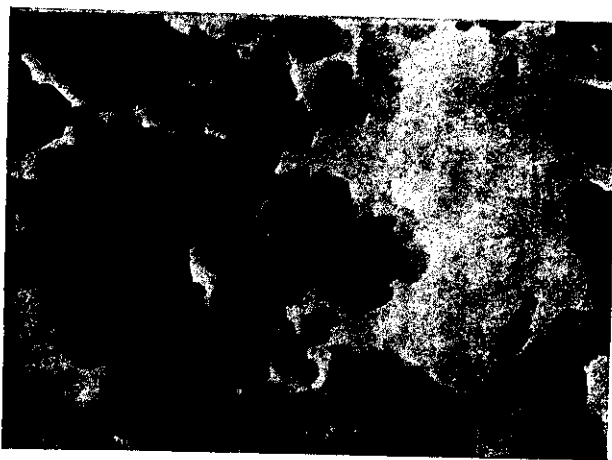


Tracce di elettroni (camera di Wilson).

b



Tracce di elettroni deviati dal campo magnetico.



Cristalli di Caolino 18.000 x



Diatomea 18000 x

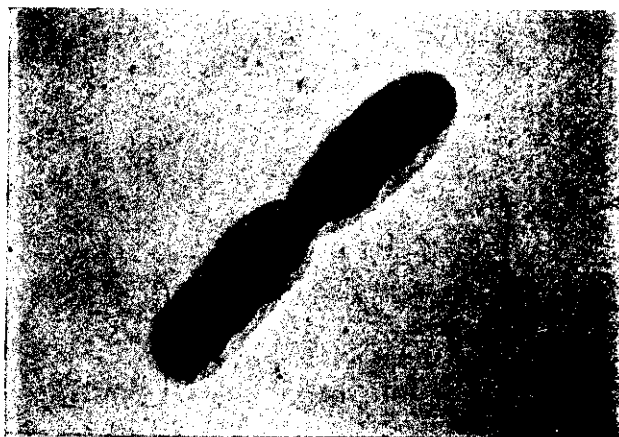


Proteus vulgaris 18000 x



Proteus vulgaris 18000 x

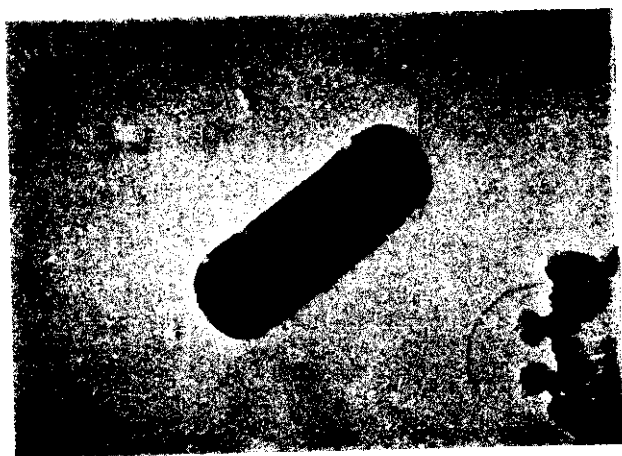
Tavola V



B. del tifo in via di divisione 18000×



B. del tifo trattato con streptomicina 18000×



Spore di *B. Subtilis* trattata con penicillina 18000 $\times$



Spore di *B. Subtilis* trattate con penicillina 18000 $\times$



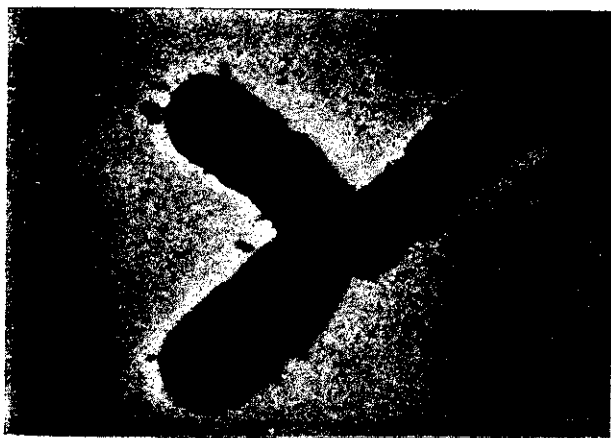
Spirilli dell'acqua 18000 x



Spirilli dell'acqua trattati con penicillina.



B. del tifo trattati con penicillina 18000 x



B. Coli trattati con streptomicina 18000 x

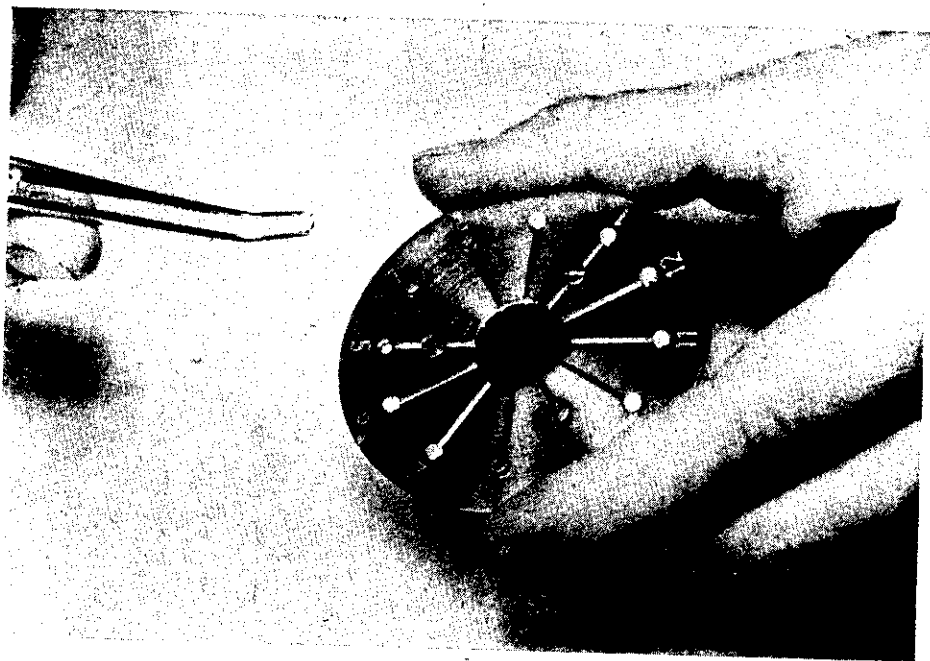


B. del tifo trattato con expansina 18000x



Bacilli dissenterici 18000x

a



b

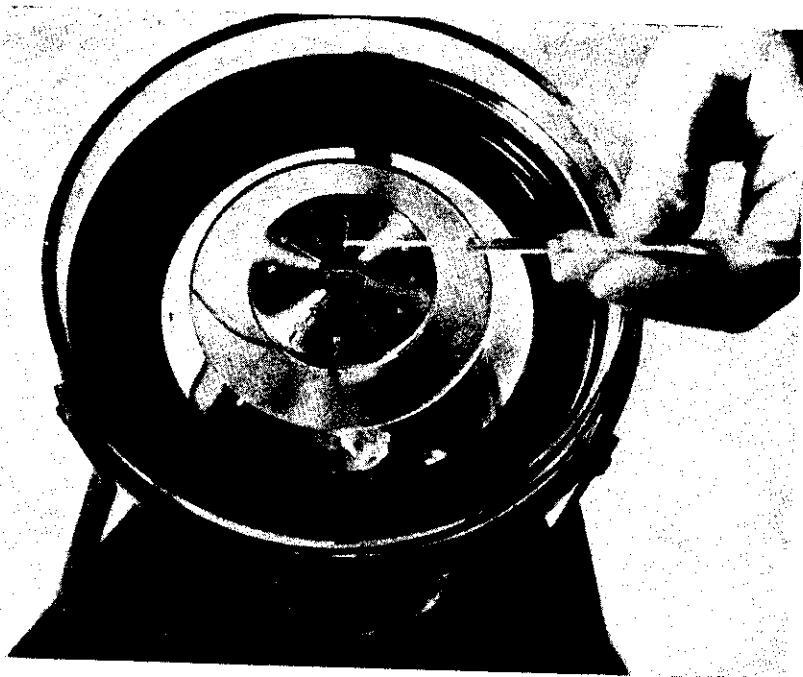
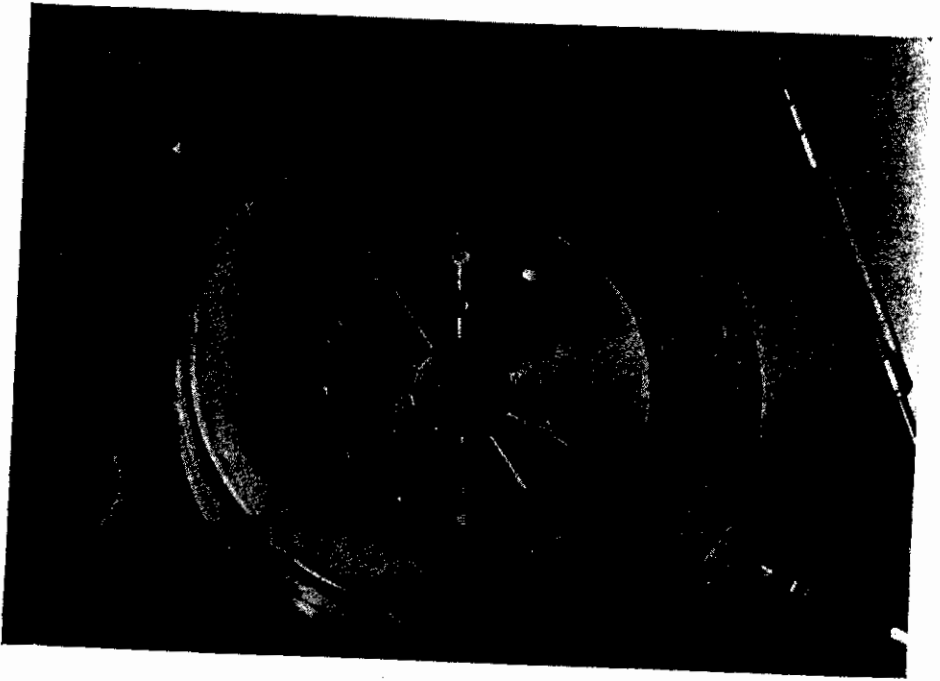


Tavola XI

a



b

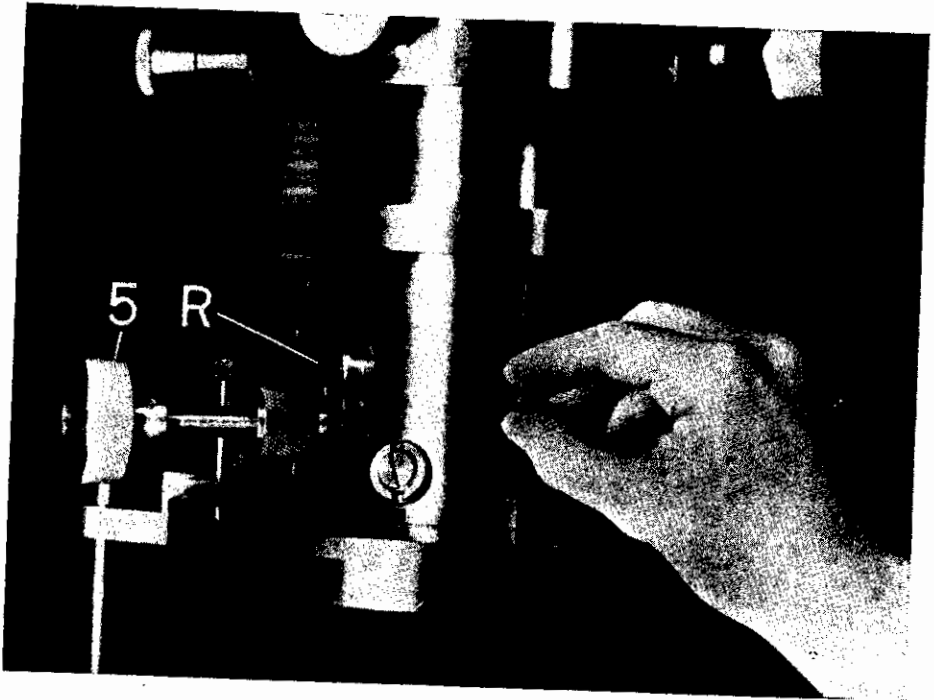
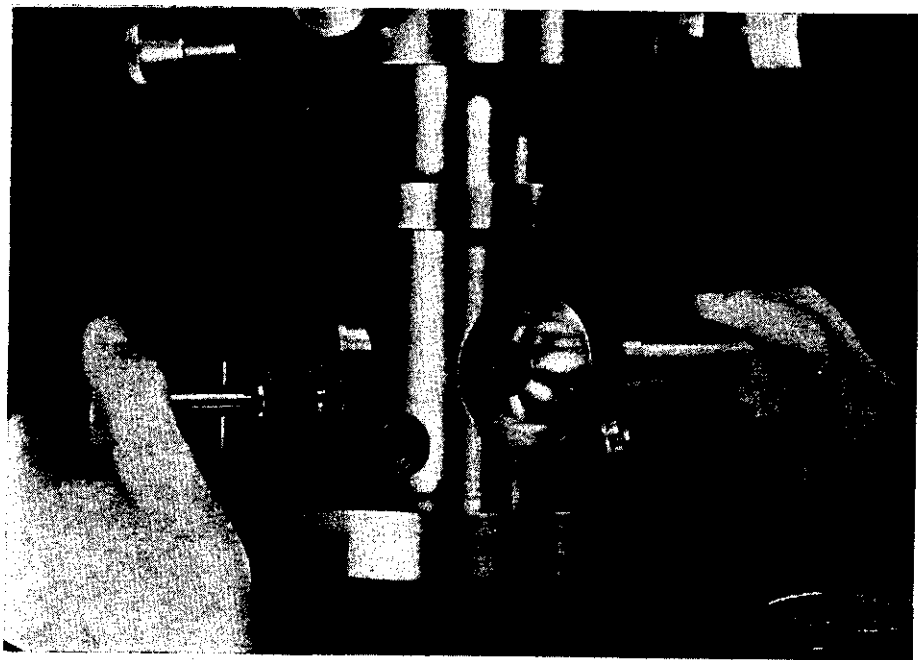


Tavola XII

a



b

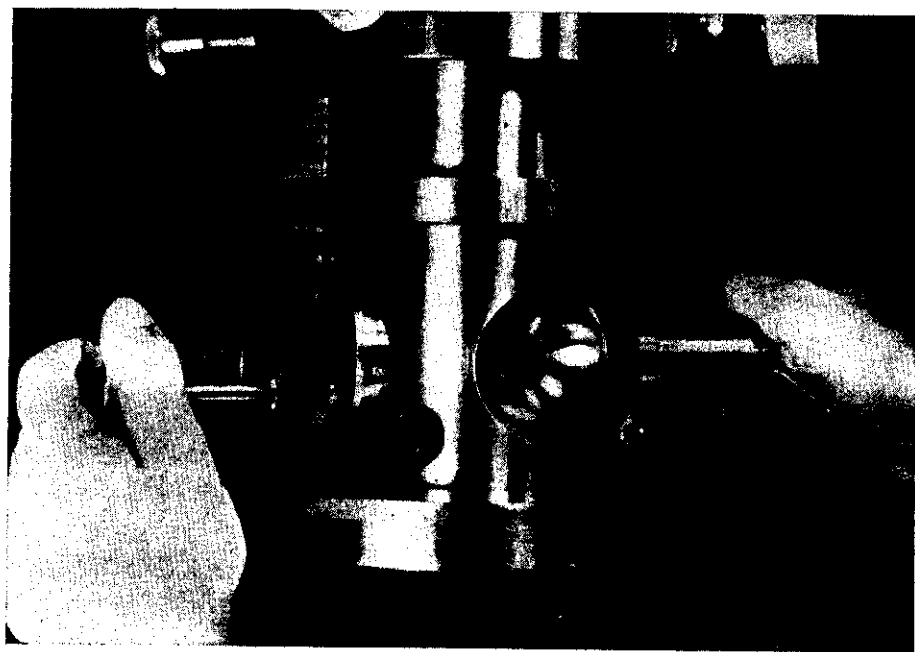
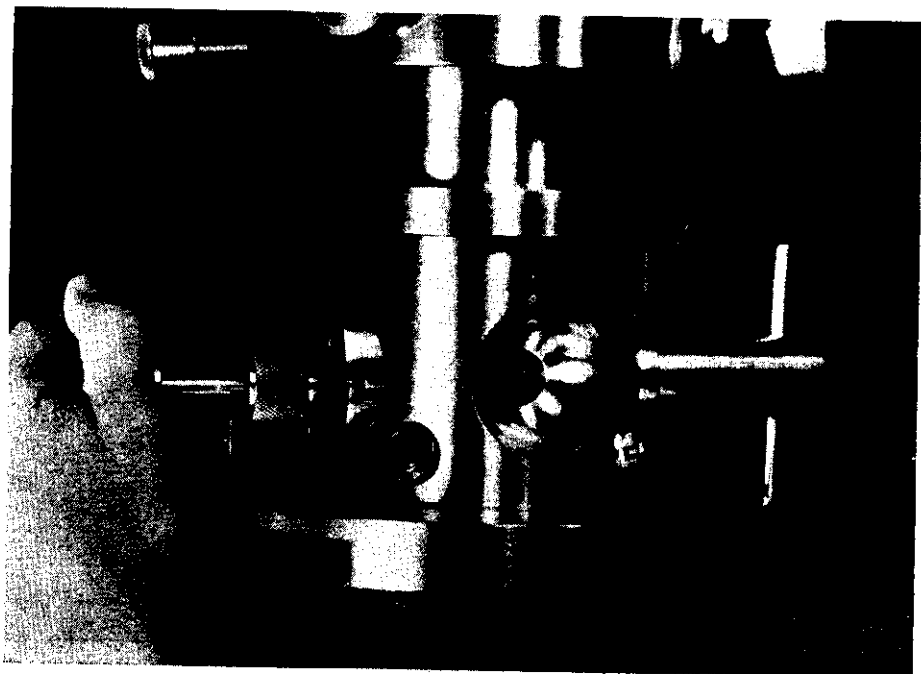


Tavola XIII

a



b

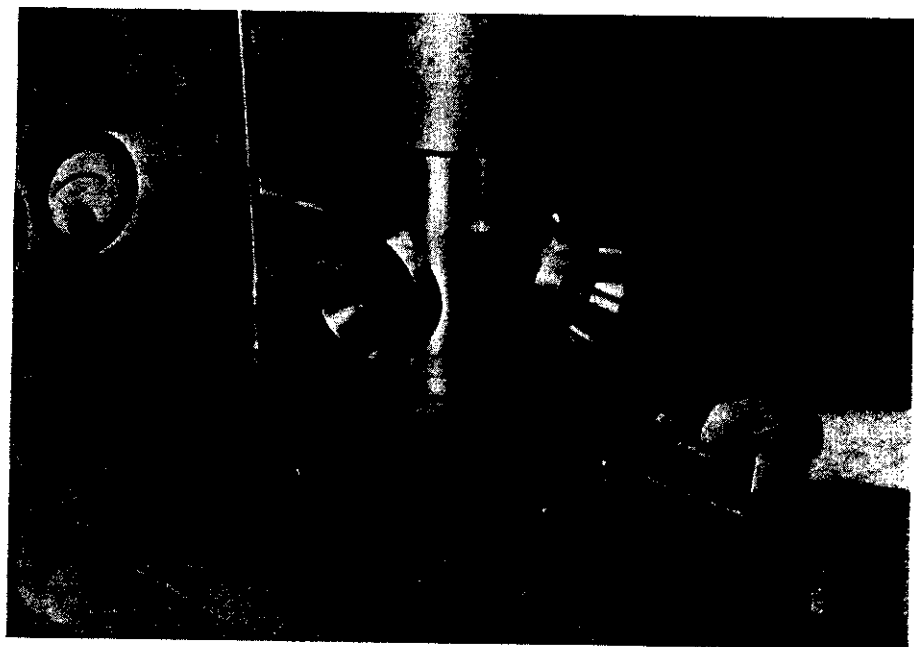
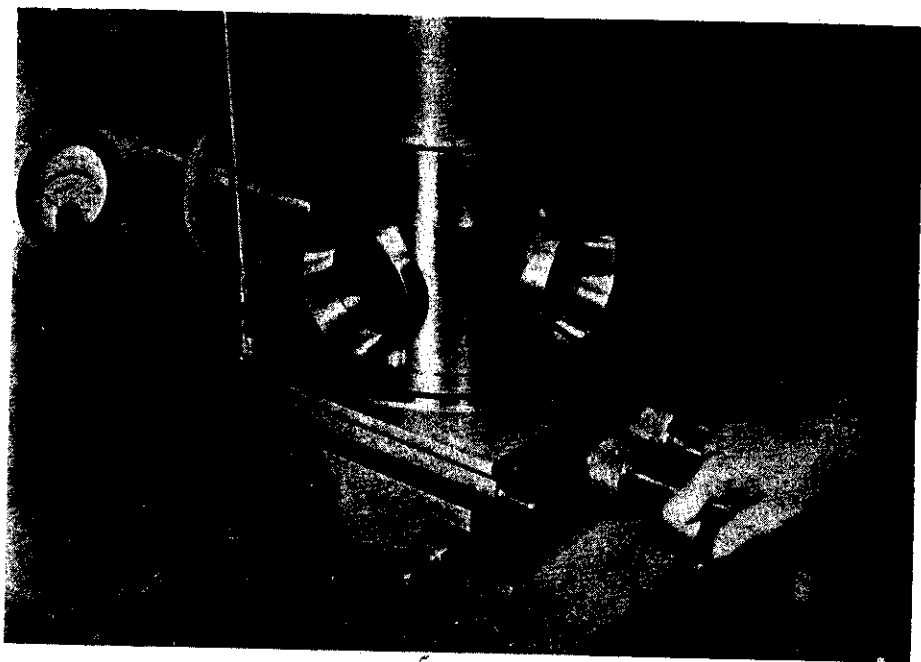


Tavola XIV

a



b

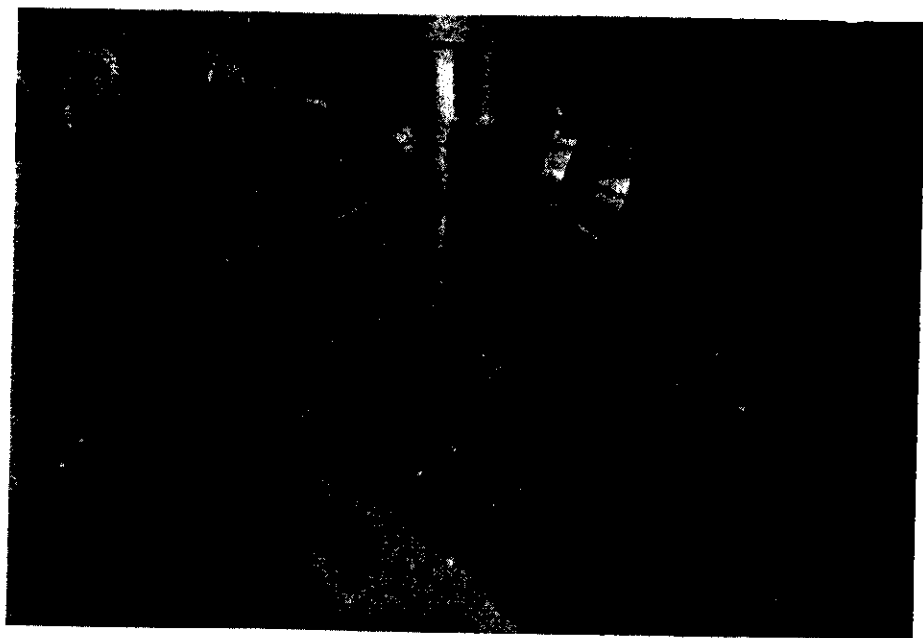


Tavola XV

trare nei misteri di quel mondo atomico, del quale i fenomeni della radioattività hanno cominciato da poco a rivelarci le meraviglie.

Non dobbiamo però considerare come tramontata la gloria del microscopio ottico, che per quattro secoli ha tanto contribuito al progresso dell'umano sapere; per gli oggetti non eccessivamente piccoli e soprattutto per l'osservazione degli organismi viventi, il microscopio ottico rimane e rimarrà sempre incontrastato e fedele mezzo di indagine in ogni campo della scienza.