

## LA NASCITA DEGLI ANELLI DI ACCUMULAZIONE PER ELETTRONI E POSITRONI

CARLO BERNARDINI

Dipartimento di Fisica, Università La Sapienza, Roma

Nell'ormai lontano 1958, i Laboratori di Frascati stavano per mettere in funzione, sia pure in una versione più moderna e potente, quell'acceleratore di particelle che il gruppo romano di via Panisperna aveva a lungo vagheggiato<sup>1</sup> prima di disperdersi nel mondo. In realtà, il più forte promotore dell'elettrosincrotrone da 1.100 MeV era stato l'ex fiorentino Gilberto Bernardini, successivamente chiamato a Roma che, con Edoardo Amaldi e i colleghi del neonato INFN (Antonio Rostagni, Piero Caldirola e Gleb Wataghin), appoggiandosi al CNRN di Felice Ippolito, avevano investito l'allora giovanissimo Giorgio Salvini della direzione dei laboratori; e Salvini l'aveva assunta circondandosi di neolaureati ventenni. L'INFN aveva coordinato egregiamente la preparazione degli apparati sperimentali che sarebbero andati sui fasci (di gamma di bremsstrahlung) della macchina, prevalentemente per esperienze di fotoproduzione :finalmente l'affrancamento da raggi cosmici, banco di formazione dei fisici italiani delle particelle elementari.

Mentre queste attività di "ordinaria ricerca programmata" andavano avanti, la temperatura intellettuale dei laboratori veniva però mantenuta alta dal bombardamento delle novità che proveniva senza sosta da tutti i laboratori attivi, particolarmente da quelli americani: voglio ricordare l'antiprotone, la fisica dei K, il fattore di forma del protone e la non-conservazione della parità; ma anche l'invenzione del focheggiamento forte nelle macchine circolari e l'idea delle collisioni fascio-fascio. C'erano molti risultati sperimentali e molte idee relative a strumenti, mentre la fisica teorica sembrava un po' impantanata in rappresentazioni fenomenologiche non molto produttive o in rappresentazioni troppo generali per produrre risultati confrontabili con gli esperimenti. Tutto sommato, mi sembra di poter dire che la fisica sperimentale avesse all'epoca più forte impatto che non la fisica teorica<sup>2</sup> nello sviluppo delle conoscenze sulle particelle elementari (ma in questo convegno abbiamo l'opportunità di ascoltare una relazione di Gianni Jona-Lasinio in proposito).

Nei Laboratori di Frascati, il sincrotrone non era ancora entrato in funzione che già si parlava del passo successivo. Gli elettroni non avevano molto credito presso i "particellari": c'era già il CERN all'orizzonte e

l'argomento della fisica "abbondante" che si poteva fare con protoni era sbandierato come probante e schiacciante; l'1/137 dei processi elettromagnetici era considerato un grave handicap. Per qualche tempo, ci fu una comunità internazionale di elettrofotonici (che si incontravano nelle electron-photon Conferences), dotati di impianti acceleratori molto simili, che mantenevano rapporti di lavoro assai stretti cercando di fronteggiare la dominanza dei sincrociclotroni e dei sincrotroni per protoni: Glasgow (J.Dee), Caltech (Pasadena; M.Sands, R.Walker), Cornell (Ithaca N.Y.; R.Wilson, B.McDaniel, A.Silverman), Lund (von Dardel), Bonn (W.Paul); a cui vanno affiancati i due Linac: Stanford (R.Hofstadter, W.Panofsky), Orsay (A.Blanc-Lapierre) . Le nuove idee erano ancora imprecise e richiedevano una forte collaborazione tra esperti di acceleratori (detti "macchinisti") e fisici; i passi erano lenti: l'idea delle collisioni tra fasci stava facendosi strada, negli USA con D. Kerst (Madison) e G.K.O'Neill (Princeton-Stanford), ma risaliva già a R.Wideroe (ingegnere e costruttore di betatroni presso la Brown Boveri). Alla data del 24 febbraio 1958 trovo sul mio Notebook dell'epoca, sotto il titolo "*Storion*": *Dispositivo per l'accumulo di beams elettronici circolanti* i calcoli per una sorta di trappola magnetica che prefigurava un dispositivo di accumulazione: niente più che una bottiglia magnetica con ragionevoli condizioni di stabilità (all'epoca, c'era molta attività di questo tipo nel settore dei plasmi controllati, uno dei più grandi e costosi aborti della storia della fisica).

Si faceva un gran parlare della perfezione della QED e dell'opportunità di verificare che non vi fossero breakdowns oltre quelli prevedibili sopra le soglie per la presenza di adroni. A parte la copiosa messe di calcoli a ordini elevati della costante di struttura fine a sapienti trattamenti delle divergenze ultraviolette e infrarosse, le idee erano ingenue: esiste un elettrone pesante,  $e^*$ , che decade in  $e + \gamma$ ? Come si modificano i propagatori di elettroni e fotoni ad elevato momento trasferito? E i vertici, cioè i presunti fattori di forma, nel rispetto della gauge invariance e dell'identità di Ward?

Un teorico americano di Stanford, molto noto, spesso ospite di Frascati e dell'Università di Roma, era il leader dei revisionisti della QED: S.D.Drell pubblicò nel 1958 un celebre articolo, *QED at small distances*, nel quale si discutevano le implicazioni dei possibili breakdowns (Annals of Physics, 4 (1958), 75). E intanto stavano spuntando i mesoni vettoriali e si profilavano cambiamenti notevoli nelle rappresentazioni dei processi: c'erano state importanti proposte di Y.Nambu e di S.N. Gupta e la vector dominance di J.J. Sakurai sarebbe arrivata di lì a poco. Forse questa insistenza "congetturale" sulla verifica della QED è quello che ha spinto Princeton e Stanford verso gli anelli tangenti per collisioni  $e^-e^-$ ; e invece un intento più

strumentale avrebbe spinto i russi di Novosibirsk (G.Budker e coll.) verso un analogo strumento (VEPP 1). Nel frattempo, D.Kerst si cimentava nel disegno delle improbabili macchine FFAG<sup>3</sup>, per protoni, un buon esempio di come lo specialismo possa a volte prendere la mano e produrre mostri; anche l'anello MURA a Madison fu un mero esercizio tecnico.

E' in questo clima che Bruno Touschek si inserisce come eccellente ibrido tra chi sa quali sono i problemi degli acceleratori e quali quelli della fisica: si era laureato con una tesi sui betatroni per poi dedicarsi alla fisica teorica. Per Bruno, i test della QED<sup>4</sup> non erano molto importanti: era invaghito di questa teoria e pensava che i problemi fossero altrove. Nella sua mentalità, la vera novità stava nel fatto che bisogna depositare energia nel vuoto, con numeri quantici ragionevoli ma "on the mass shell". «Finora», diceva, «abbiamo fatto geometria, diffrazione: i fattori di forma dei nucleoni (il grande successo di R. Hofstadter, a Stanford) a momento trasferito space-like. Se riuscissimo a produrre momenti trasferiti time-like, appunto on the mass shell, potremmo eccitare il vuoto, per esempio in stati  $J^{PC} = 1^-$ , che corrispondono a interessanti mesoni vettoriali neutri. Questa è, finalmente, dinamica». Effettivamente, le idee dell'epoca per ottenere risultati che potevano essere rilevanti consistevano nel cercare di estrapolare ampiezze dalla regione space-like a quella time-like con formule di dispersione (vedi la relazione di Cini); ma il passo era troppo grande: come non riconoscere, allora, che misure dirette avrebbero dato risultati di grande rilevanza?

Il 7 marzo 1960 Bruno fece un seminario a Frascati: descrisse un anello di accumulazione per elettroni e positroni che aveva già discusso con alcuni di noi nei giorni precedenti. Erano presenti Salvini, Fernando Amman, Raoul Gatto oltre a molti altri. L'idea era, in un certo senso, abnorme, sorprendente, eccitante. Bruno calcolò alla lavagna il "vantaggio cinematico" derivante dallo stato di riposo del centro di massa, mostrando agli attoniti sperimentatori che si accingevano a fotoprodurre mesoni con il sincrotrone che l'energia disponibile nel CM in un anello  $e^+e^-$  era, per appena 200 MeV dei fasci, di ben 400 MeV contro i circa 30 MeV di un  $e^+$  da 1.000 MeV su un elettrone fermo. Sicché diventava possibile produrre adroni da un robusto fotone virtuale on the mass shell! Si incominciò a discutere delle difficoltà. A parte la spesa - che non sembrava astronomica per un piccolo prototipo, già battezzato AdA (Anello di Accumulazione): con 20 milioni di allora si poteva incominciare, disponendo dei servizi dei LNF - c'erano numerosi problemi tecnici. Bruno provò a convincere Salvini a trasformare il sincrotrone, prima che fosse usato per i programmi previsti, in anello: ne seguì un alterco violento ma breve, perché Salvini oppose un netto e saggio rifiuto (questa pazzia di convertire un sincrotrone - per elettroni da 3GeV -

in anello fu fatta a Harvard da Ken Robinson e Karl Strauch all'inizio degli anni '70, ma durò poco). Poi si passò a progettare e valutare:

- 1 - Il fattore di sorgente delle reazioni  $e^+e^-$ , di lì in poi chiamato "luminosità"
- 2 - Le vite medie dei fasci e il vuoto necessario
- 3 - I problemi dell'iniezione di positroni ed elettroni nell'anello
- 4 - La struttura del magnete e dell'impianto a RF per compensare la perdita per radiazione di sincrotrone

Giorgio Ghigo, con l'aiuto del gruppo magneti di Giancarlo Sacerdoti e del gruppo RF di Mario Puglisi, progettò immediatamente la macchina (punto 4); l'ordine per il magnete fu piazzato all'Ansaldo appena una settimana dopo grazie a un decisivo intervento di Amaldi presso Ippolito al CNEN.

Per l'iniezione (3) fu deciso, provvisoriamente, di ricorrere a una conversione dei gamma del sincrotrone in coppie elettrone-positrone su un bersaglio interno all'anello: l'accettazione sarebbe stata bassa ma, presumibilmente, non nulla, tanto per incominciare. Poiché elettroni e positroni (ma non fummo mai d'accordo su quali fossero gli uni e quali gli altri: bella riprova di CP invarianza) avrebbero dovuto correre sulle stesse orbite ma in versi opposti, usando un unico bersaglio convertitore era necessario invertire il campo senza distruggere il fascio già accumulato: che fare? Ghigo e Gianfranco Corazza, con grande soddisfazione di Touschek, pensarono bene di montare l'anello (poco meno di 10 tonnellate di roba) su uno spiedone rotante che fu subito battezzato "girarrosto": il campo si ribaltava, senza spegnerlo, ribaltando la macchina!

Le perdite dei fasci e le loro vite medie (2) dipendono dal gas residuo nella donut. Gianfranco Corazza stava già facendo esperienza con le splendide pompe a ionizzazione (che poi avremmo comprato dalla Varian). Da quel momento in poi il problema fu suo e lo risolse nel migliore dei modi: già nella donut provvisoria avevamo  $10^{-7}$  torr, che di lì a poco divennero  $10^{-10}$  torr dopo un trattamento di degassamento a caldo delle pareti interne. C'era perfino qualche problema con i vacuometri Alpert, che a quel livello diventavano insensibili: qualche anno dopo, con Corazza, progettammo e costruimmo un vacuometro che funzionava come un microscopio Mueller con campo invertito sulla punta, su cui attirava atomi neutri polarizzati aumentando localmente la densità e quindi la corrente di ionizzazione misurata; ma era troppo delicato: il campo di  $5 \text{ kV}/\mu\text{m} = 5 \text{ GeV/m}$  rompeva la punta e ci voleva molto tempo per sostituirla.

Touschek era tutto preso dalla luminosità L (1). Trovò la formula che mostrava la dipendenza dalla sezione trasversa dei fasci e da numero e frequenza dei bunches, oltre che dalle correnti accumulate (ovvio). Spesso

maltrattava i dubbiosi e incerti che facevano domande come: "Chi assicura che i fasci si incontreranno?" e lui rispondeva: "Ovviamente, teorema TCP! Anzi, basta CP!". Oppure: "Ma le interazioni elettriche con la donut metallica non separeranno i fasci?" e lui: "Sheiße!". E così via.

Il 27 febbraio 1961, meno di un anno dopo, registrammo i primi elettroni accumulati. Un fotomoltiplicatore osservava la luce di sincrotrone attraverso un oblò della donut: era stato calibrato senza problemi, un singolo elettrone era visibile a occhio nudo e noi ne accumulavamo qualcuno per farlo vedere ai visitatori (Amaldi, Dee di Glasgow, un allievo di Rutherford, Paul di Bonn, von Dardel di Uppsala, gli amici di Cornell e di Caltech); si potevano anche scattare foto polaroid di qualche elettrone circolante: in fondo, pur emettendo poca luce per passaggio, passava 75 milioni di volte al secondo! A occhio, si vedeva una puntuta immagine bianco-bluastro di luminosità pari a quella che avrebbe il Sole a 5 a.l. da noi.

L'iniezione fu un problema: il duty cycle e la geometria del fascio del sincrotrone erano sfavorevoli. Si dovette avvicinare il più possibile il girarrosto alla macchina. Ma spesso, ribaltando l'anello, si perdeva il fascio accumulato. Bruno, con Pierre Marin di Orsay, fecero qualche tempo dopo un'osservazione occasionale: minuscoli frammenti metallici diamagnetici provenienti dalle saldature della donut che, al ribatamento, ghigliottinavano occasionalmente il fascio accumulato. Ghigo inventò un nuovo schema in cui lo spiedo era sostituito da una rotazione e una traslazione, per "ovvii motivi gruppali" spiegava Bruno. La velocità d'iniezione peggiorò ulteriormente perché la torre su cui fu montata AdA la allontanò dal sincrotrone. Ben presto si capì che, pur migliorando le vite medie - che ormai erano arrivate a 10 ore - i fasci non avrebbero avuto più di  $10^5$  particelle ciascuno in un turno di carica: troppo poco per ogni esperimento di fisica. Pierre Marin, che veniva da Orsay dove disponevano, come a Stanford, di un Linac per elettroni da 1 GeV, chiese se eravamo interessati a trasferire lì AdA: il duty-cycle del Linac (corti impulsi da nsec alla frequenza di rete) stavolta non sarebbe stato un inconveniente come lo era invece per le esperienze in coincidenza in cui il sincrotrone era nettamente preferibile; l'intensità (qualche mCoulomb/ora) era formidabile e gli elettroni si potevano convertire a ridosso di AdA trattandosi di un fascio elettronico esterno. Mi venne anche l'idea di modulare in discesa la tensione di RF durante e grazie al corto impulso d'iniezione, il che portò a un guadagno di un fattore 25 del rendimento (per inciso: feci un seminario a Cornell durante il quale ebbi un diverbio con Tigner che stava costruendo una copia di AdA con modulazione RF a salire, che sembrava, erroneamente, "naturale": lo dico perché tutti noi del gruppo avevamo a quel punto una conoscenza quasi

simbiotica delle proprietà dell'anello). Grazie a Pierre Marin , che è morto purtroppo in aprile 2002, e al direttore di Orsay, André Blanc-Lapierre (scomparso anch'egli in dicembre 2001) sollecitato autorevolmente da Amaldi, ci trasferimmo a Orsay tra il '62 e il '63: con molte peripezie che ho raccontato altrove. Il gruppo ora era formato da Corazza, Ghigo, Touschek e me, cui si erano aggiunti Giuseppe Di Giugno e Ruggero Querzoli, più i francesi: Jacques Haissinski e Pierre Marin.

Che l'anello non avesse più segreti, per noi, lo si vide una notte, nel '63, quando ci accorgemmo che la vita media di un fascio diminuiva all'aumentare del numero di particelle in esso accumulate. Fu un'osservazione drammatica: sembrava la condanna a morte degli anelli. Bruno si allontanò alle 5 del mattino e andò al Café de la Gare a bere il suo prediletto Rosé Sec con gli operai che arrivavano da Parigi. Tornò eccitatissimo alle 6 e mezza: aveva capito: il trasferimento di momento dai moti trasversali a quello longitudinale per scattering Møller tra gli elettroni di uno stesso bunch produceva la catastrofe perché le oscillazioni di betatrone avevano momenti assai più grandi di quelle di fase e queste ultime, non lineari, avevano anche un momento massimo accettato nella zona di stabilità. Bruno era preoccupato e soddisfatto a un tempo: aveva capito, il problema era serio per AdA; ma non avrebbe impedito il funzionamento di una macchina più grande. Bruno aveva già una formula<sup>5</sup> per la dipendenza dall'energia di quello che si sarebbe subito chiamato "effetto Touschek". Ricordo che eravamo molto ammirati del fatto che Bruno fosse venuto a capo del problema in un'ora. Con la consueta pazienza mi spiegò che la dipendenza della vita media dal numero di particelle in un bunch gli aveva suggerito che l'equazione di variazione del numero  $n$  accumulato in un bunch era del tipo:

$$\dot{n} = -\frac{1}{\tau_0} n - \alpha n^2 + \dot{n}_0$$

dove il primo termine a destra è dovuto al gas, il secondo è la novità di Touschek/AdA e il terzo è il contributo dell'iniezione<sup>6</sup>. Il fatto che la novità fosse quadratica denunciava un effetto di densità nel bunch; cosa altro poteva essere se non lo scattering Møller? Mentre lui parlava, io capii che più alta era la densità, più frequenti sarebbero stati gli urti nel bunch; poco tempo prima mi ero accorto che le dimensioni verticali del fascio erano certamente molto più piccole (10  $\mu\text{m}$  contro 1 mm) di quelle orizzontali

perché, contrariamente alla diffusa opinione che le dimensioni fossero dovute a scattering multiplo, il regime era quello di scattering singoli compensati da un forte damping di radiazione. Perciò, accoppiando il modo orizzontale al verticale durante l'iniezione, la sezione del beam sarebbe diventata circolare, la densità sarebbe diminuita e l'effetto Touschek pure, consentendo di iniettare più particelle. Effettivamente, riuscimmo a portare la saturazione a ben  $10^8$  particelle per beam: io partii per Frascati dove, preavvertiti telefonicamente, mi prepararono un quadrupolo che inserimmo con gli assi ruotati di  $45^\circ$  appena tre giorni dopo. Racconto l'episodio per sottolineare il clima iperattivo e indimenticabile in cui vivevamo: questo non si è forse più verificato nel lavoro con acceleratori. Comunque, Adone (2x1.500 MeV) a quel punto era già in costruzione ("Adon che a nullo Amaldi amar perdona", come dicevamo scherzando, era stato fortemente appoggiato da Edoardo Amaldi). La direzione dei lavori fu affidata a Fernando Amman, che ha poi raccontato le vicende relative a questa impresa; sicché oggi ve le risparmio. Anche il "libro dei sogni" era stato fatto: era la celebre "Bibbia" pubblicata da Nicola Cabibbo e Raoul Gatto<sup>7</sup> sul Physical Review già nel '61, che conteneva il repertorio completo di ogni immaginabile (all'epoca) sezione d'urto di annichilazione.

A quel punto, la praticabilità degli anelli per elettroni e positroni era dimostrata: facemmo una misura di bremsstrahlung con un contatore di Cerenkov in vetro al piombo e pubblicammo il risultato sul Nuovo Cimento<sup>8</sup> già nel 1964. Risultati intermedi e vicende sono ormai cancellati: qualche rapporto dei LNF, le note personali di Pierre Marin, che me ne ha mandato copia poco prima di morire, la tesi di Docteur es-Sciences di Jacques Haïssinski (di cui eravamo "relatori" Bruno e io in una commissione formata da noi, Blanc-Lapierre e Néel di Grenoble); ce ne sarebbero da raccontare per ore e ore, se si volesse fare un confronto tra il modo di lavorare di oggi e quello di allora. Di sopravvissuti ci siamo solo, oltre me, Corazza, Di Giugno, Haïssinski: Corazza fa il contadino a Corato, Di Giugno fa musica e modellini a Colferro e Haïssinski si occupa di stelle nane brune. La sola cosa che voglio dire è che con gruppi di quelle dimensioni si poteva lavorare senza nemmeno il sospetto che qualcuno non facesse tutto quello che doveva: è stato un indimenticabile "uno per tutti, tutti per uno".

I francesi avevano subito messo in cantiere ACO, una macchina un po' più grande di AdA (2x500 MeV) e molto professionale, soprattutto per l'iniezione; i siberiani di Gershon (Andrei Mihailovich) Budker a Novosibirsk avevano in costruzione VEPP 2, con qualche problema per le tecnologie del vuoto (la Varian non esportava in URSS a metà degli anni '60: l'abbattimento, con un missile, dell'U2 di Powers ancora pesava sui

rapporti tra le superpotenze). A Saclay, nel 1966, si tenne un importante convegno dove alcuni di noi che preparavano esperimenti per Adone proposero di usare queste macchine per l'osservazione di risonanze vettoriali  $1^{--}$  molto strette a masse più elevate che non quelle dei tre mesoni già noti ( $\rho\omega\phi$ ): la definizione in energia dei fasci era talmente buona che si potevano osservare righe da pochi keV. Il nostro smacco più grande fu che la  $J/\psi$  stava appena 50 MeV sopra l'energia massima di Adone (1.500 MeV), sicché la trovarono Richter a Stanford e Ting a Mit solo nel 1974, in una sfida tra "gentiluomini" che non auguro a nessuno. Il giorno che arrivò la notizia della  $J/\psi$  Adone fu "forzato" a 1.550 MeV e comparve in poche ore questa meraviglia che ci era stata (involontariamente, beninteso) scippata. Ma qui voglio solo ricordare due cose da lasciare agli atti. Una è la misura riportata dai francesi di ACO a Cornell alla electron-photon Conference del 1971. Ci si vede (e Bruno era al settimo cielo) un esempio della parte dispersiva della costante dielettrica del vuoto misurata attraverso l'interferenza  $\gamma\text{-}\phi$  nella sezione d'urto  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ . E' una misura unica nel suo genere e non solo molto difficile. L'altra cosa è che, alla fine degli anni '60, quando Adone stava entrando in funzione, ero responsabile della sperimentazione con Adone. In quella veste, ho purtroppo assistito a scene di "banditismo accademico" a mio parere inqualificabili che hanno seriamente pregiudicato il lavoro scientifico e un certo primato italiano: ho protestato pubblicamente in passato per i danni derivanti dalla contestazione al lavoro con Adone; ma forse i danni sono stati meno gravi di quelli prodotti dal rampantismo di qualche "collega". Voglio solo lasciare memoria, qui, del fatto che ho deciso di scrivere un dossier che sarà accessibile fra un paio di decenni: a questo siamo ridotti, a causa dei "soliti noti" (che però prendono premi dalla nostra comunità).

Credo che tutti i risvolti di questa storia<sup>9</sup>, da cui la storiografia americana ci ha piratescamente cancellati, siano importanti. Dopotutto, ogni laboratorio di alte energie che si rispetti, nel mondo, ha un "collider".

## Bibliografia

- 1 G.Battimelli, I.Gambaro, "Un laboratorio per le alte energie...", Atti Congr. Naz. Storia della Fisica, Udine 1993-Lecce 1994, Edit. A. Rossi, Conte, Lecce 1995, p. 475; G.Battimelli, I.Gambaro, Quad. Storia della Fisica 1 (1997), p. 319
- 2 *Strong Interactions and High Energy Physics*, edited by R.G.Moorhouse, Oliver & Boyd, Edinburgh, 1964
- 3 K.R.Symon, D.W.Kerst, L.W.Jones, L.J.Laslett, K.M.Terwilliger, *Fixed-Field Alternating-Gradient particle accelerators*, Phys.Rev. 103 ((1956) 1837



- 4 S.D.Drell, *Quantum Electrodynamics at small distances*, Annals of Physics, 4 (1958) 75; C.Bernardini, *High Energy Experiments in QED*, Summer School, Univ.of Colorado, Boulder (1968)
- 5 C.Bernardini, G.F.Corazza, G.Di Giugno, G.Ghigo, J.Haïssinski, P.Marin, R.Querzoli, B.Touschek, *Lifetime and Beam Size in a Storage Ring*, Phys.Rev.Lett. 10 (1963) 407
- 6 C.Bernardini, Scientia, 113 (1978) 27; Il Nuovo Saggiatore, 6 (1982); *From the Frascati Electrosynchrotron to Adone*, "Present and Future of Collider Physics", vol.30 (1990), Ed.: Italian Physical Society; E. Amaldi, *The Bruno Touschek Legacy*, CERN 81-19, 1981, Geneva; also, *L'eredità di Bruno Touschek*, Quaderni del Giornale di Fisica, V, n°7, 1982
- 7 N. Cabibbo, R. Gatto, *Electron-Positron Colliding Beam Experiments*, Phys. Rev., **124** (1961) 1577
- 8 C.Bernardini, G.F.Corazza, G.Di Giugno, J.Haïssinski, P.Marin, R.Querzoli, B.Touschek, Nuovo Cimento, 34 (1964), 147
- 9 F.Amman, *The Early times of electron Coliders*, Rivist di Storia della Scienza, n° 2 (1985), 130; History Symposium "Strong Focusing Discovery and Impact. Events and Recollections", 1985 Summer School on Particle Accelerators, SLAC (1985). As far as physics is concerned, see: G.Salvini, A.Silverman, *Physics with Matter-Antimatter colliders*, Physics Reports, vol.171, n°5,6 (1988).



18-2-80

State of affairs: Discussed plan with (George). Decided for "cathode" storage. To proposal out of y-beam also for electron.

Typical possibility:

Y = y-beam, T = target, H = separating magnet, ST = Storage magnet, C = Arc unit.

Basic formula:

$$q = N^2(x)^2 \frac{q}{q} \frac{C}{\pi R}$$

No number of particles accepted per pul. Via repetition rate of the Squish (100 Hz)

